



TESIS-RC142501

**PEMODELAN HUBUNGAN PROSES DESAIN
TERHADAP PENINGKATAN *CONSTRUCTABILITY*
DAN *MAINTAINABILITY* PADA PROYEK KONSTRUKSI
BERBASIS SISTEM DINAMIK**

RIZKI ASTRI APRILIANI
3115203005

DOSEN PEMBIMBING
TRI JOKO WAHYU ADI, S.T., M.T., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN PROYEK KONSTRUKSI
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
Rizki Astri Apriliani
NRP. 3115203005

Tanggal Ujian: 13 Juni 2017

Periode Wisuda:

Disetujui oleh:



1. **Tri Joko Wanyu Adi, S.T., M.T., Ph.D**
NIP : 19740420 200212 1 003

(Pembimbing)



2. **Ir. I Putu Artama Wiguna, M.T., Ph.D**
NIP : 19691125 199903 1 001

(Penguji)



3. **Dr. Machsus, S.T., M.T.**
NIP : 19730914 200501 1 002

(Penguji)



Ir. Purwanita Senjanti, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19590427 198503 2 001

PEMODELAN HUBUNGAN PROSES DESAIN TERHADAP PENINGKATAN *CONSTRUCTABILITY* DAN *MAINTAINABILITY* PADA PROYEK KONSTRUKSI BERBASIS SISTEM DINAMIK

Nama Mahasiswa : Rizki Astri Apriliani
NRP : 3115203005
Pembimbing : Tri Joko Wahyu Adi, S.T.,M.T.,Ph.D.

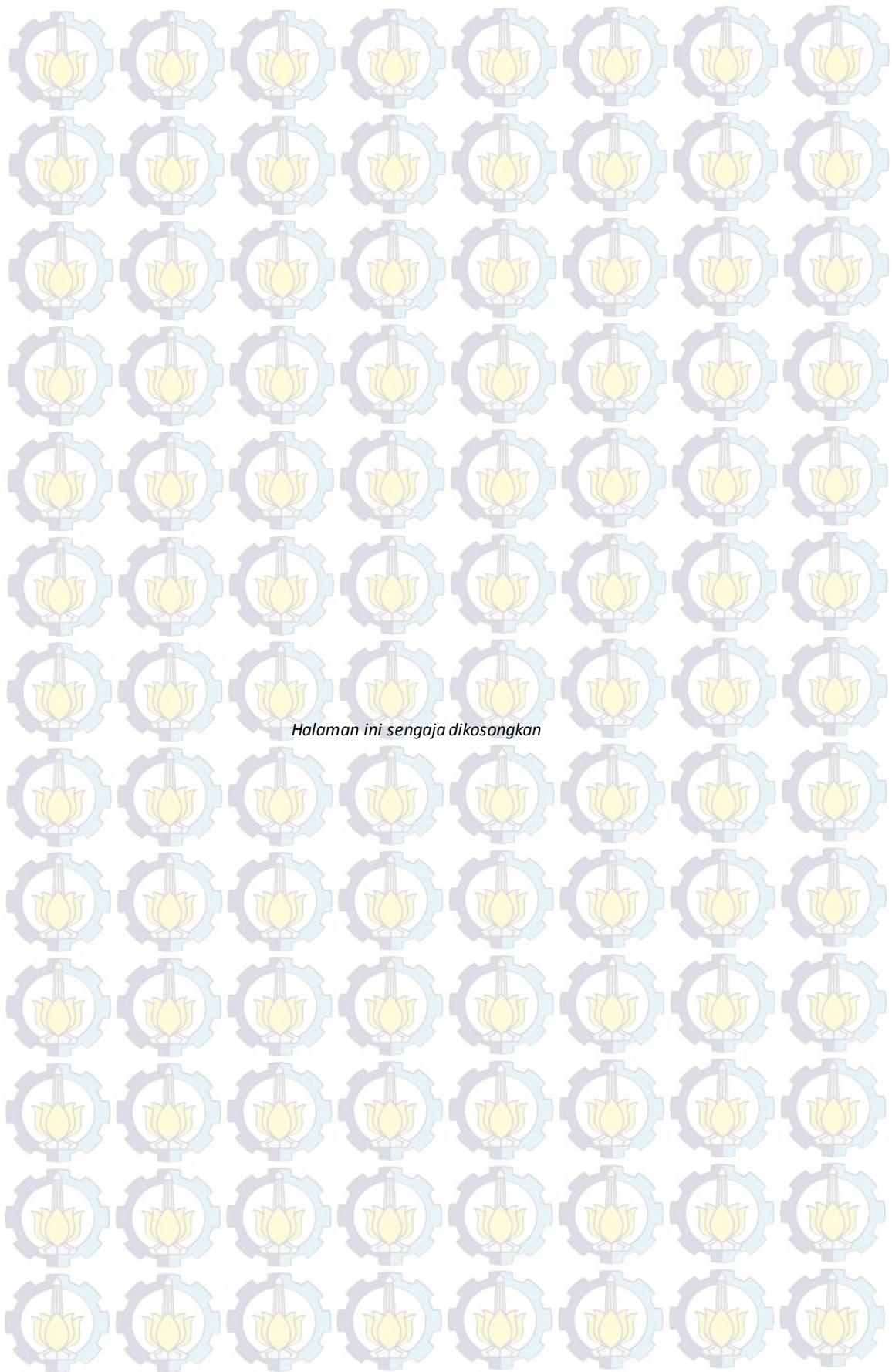
ABSTRAK

Banyaknya permasalahan yang terjadi di lapangan pada saat tahap konstruksi disebabkan oleh adanya kesalahan pada fase desain. Permasalahan yang timbul pada saat tahap operasional dan *maintenance* juga beberapa timbul karena kesalahan pada saat fase desain. Namun pada saat ini sebagian besar perusahaan konsultan perencana telah mempertimbangkan konsep *constructability* dan *maintainability* dalam proses desain yang mereka lakukan. Hal tersebut karena kesadaran mereka akan manfaat optimal yang dapat dicapai jika mempertimbangkan kedua konsep tersebut pada tahap desain karena banyak keputusan penting pada proses desain dan berdampak pada tahapan selanjutnya. Penelitian sebelumnya hanya membahas faktor desain yang mempengaruhi *constructability* dan *maintainability* secara terpisah. Namun dalam kenyataan di lapangan antara proses desain, *constructability* dan *maintainability* saling berkorelasi satu sama lain.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara proses desain terhadap peningkatan *constructability* dan *maintainability* pada proyek konstruksi. Variabel penelitian diperoleh dari studi literatur dan hasil survei kuisioner. Sistem dinamik digunakan untuk menggambarkan hubungan antar variabel dari proses desain yang mempengaruhi *constructability* dan *maintainability*. *Causal Loop Diagram* (CLD) antara variabel yang terbentuk diverifikasi oleh expert. Nilai input untuk Stock Flow Diagram (SFD) didapatkan dari hasil kuisioner dengan responden yakni kepala perencana dan tenaga ahli perencana pada konsultan perencana yang tergabung dalam INKINDO Surabaya. Pada penelitian ini juga dilakukan wawancara dengan expert (pihak kontraktor dan owner) yang digunakan untuk mendukung model awal yang telah terbentuk.

Berdasarkan hasil skenario parameter, pengintegrasian proses desain dan *constructability* memiliki dampak yang paling signifikan terhadap *maintainability* dengan persentase perubahan atau peningkatannya 69.6% dibandingkan model awal. Sementara itu hasil skenario struktur yang dilakukan terhadap *maintainability*, skenario yang memiliki dampak paling signifikan adalah dengan menggabungkan ke enam faktor yang dapat meningkatkan *maintainability*. Dengan persentase perubahan atau peningkatan sebesar 54.17% dari model awal.

Kata Kunci : *Constructability*, Desain, *Maintainability*, Sistem Dinamik



MODELING CORRELATION OF DESIGN PROCESS TO INCREASE CONSTRUCTABILITY AND MAINTAINABILITY IN CONSTRUCTION PROJECTS BASED ON SYSTEM DYNAMIC

By : Rizki Astri Apriliani
Student Identity Number : 3115203005
Supervisor : Tri Joko Wahyu Adi, S.T.,M.T.,Ph.D.

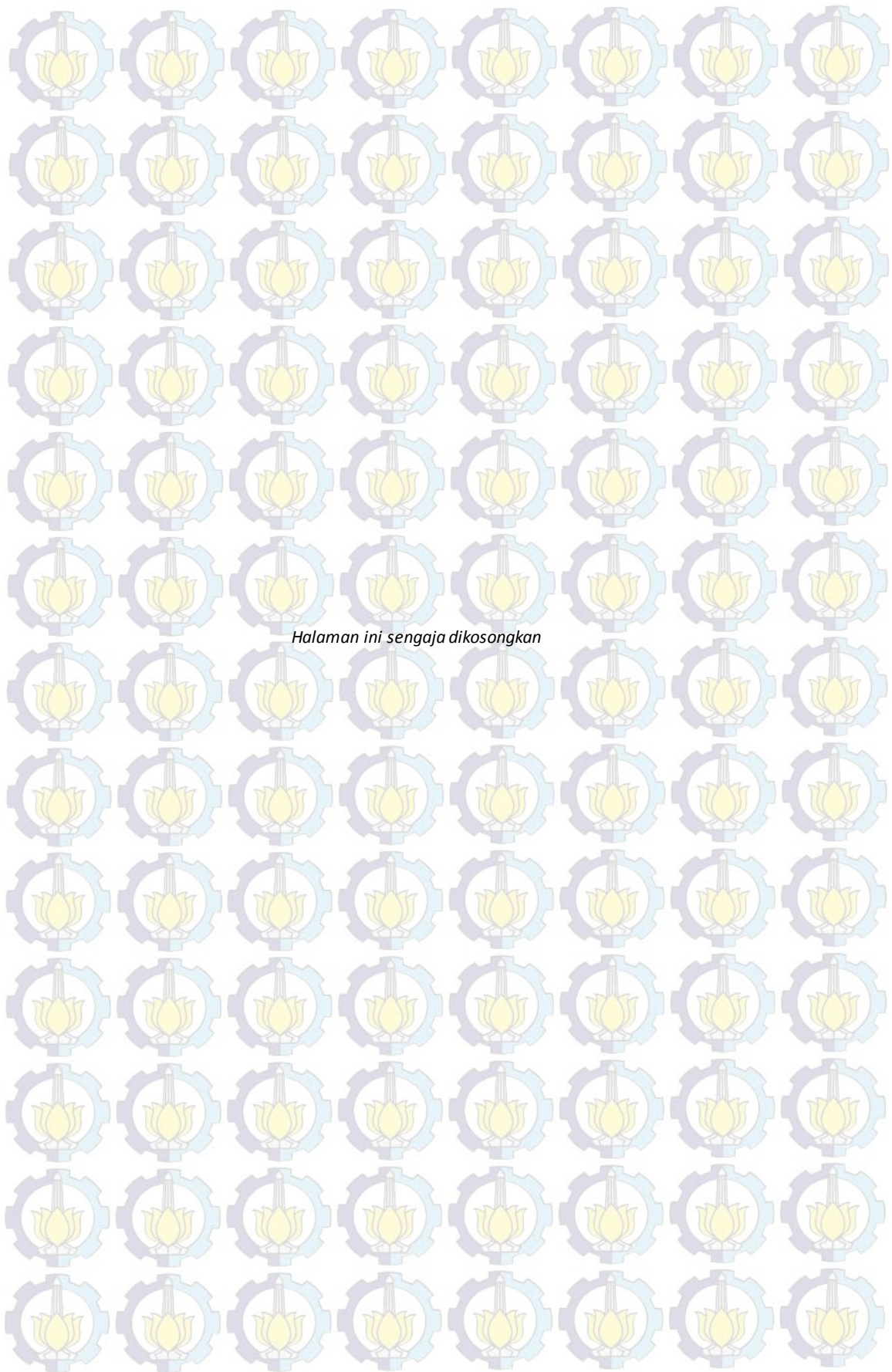
ABSTRACT

The number of problems that occur in the field during the construction phase caused by a mistake in the design phase. Problems that arise during the operational and maintenance phase also some arise due to errors during the design phase. Nevertheless currently most planner design firms have considered the concept of constructability and maintainability in their design process. This is due to their awareness of the optimal benefits that can be achieved when considering the two concepts at the design stage because many important decisions on the design process which have impact on the next phase. Prior research only deals with design factors that affect constructability and maintainability separately. But in reality in the construction project between the design process, constructability and maintainability are correlated to each other.

This study aims to analyze the relationship between the design process to increase the constructability and maintainability of construction projects. The research variables were obtained from the literature study and the result of the questionnaire survey. System dynamic are used to describe relationships between variables of the design process that affect constructability and maintainability. Causal Loop Diagram (CLD) between the variables formed is verified by the expert. The input value for the Stock Flow Diagram (SFD) is obtained from the questionnaire with the respondents is the team leader and the planner expert on the consultant planner incorporated in INKINDO Surabaya. In this study also conducted interviews with experts (the contractor and owner) used to support the initial model that has been formed.

Based on the results of parameter scenarios, the integration of design and constructability processes has the most significant impact on maintainability with a percentage change or an increase of 69.6% over the initial model. The result of the structure scenario being carried out on maintainability, the scenario that has the most significant impact is by combining the six factors that can improve maintainability. With a percentage change or increase of 54.17% over the initial model.

Keywords: Constructability, Design, Maintainability, System Dynamics



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan TESIS dengan judul *Pemodelan Hubungan Proses Desain Terhadap Peningkatan Constructability dan Maintainability Pada Proyek Konstruksi Berbasis Sistem Dinamik*. Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan program Pascasarjana tingkat Magister, Jurusan Teknik Sipil, Bidang Keahlian Manajemen Proyek Konstruksi.

Dalam menyelesaikan tesis ini, Penulis tidak terlepas dari berbagai bantuan dari berbagai pihak yang telah memberikan arahan, bimbingan dan semangat. Terutama dukungan dari Mama dan Ayah, yang selalu mendoakan dan motivasi dari jarak jauh tetapi Penulis yakin bahwa doa dari orang tua lah yang dapat membawa penulis hingga pada jenjang saat ini. Sumber lain yang memberikan keyakinan penulis yaitu Keluarga Besar Penulis.

Teman hidup Penulis M. Thaufan Dwiputro, yang selalu memberikan semangat, motivasi dan dukungan agar dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik. Teman-teman MPK angkatan 2015 yang sudah seperti keluarga, penulis mengucapkan terimakasih atas semangat dan dukungannya. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Junda mahasiswa Teknik Industri yang telah membantu mengarahkan penulisan dalam mempelajari sistem dinamik.

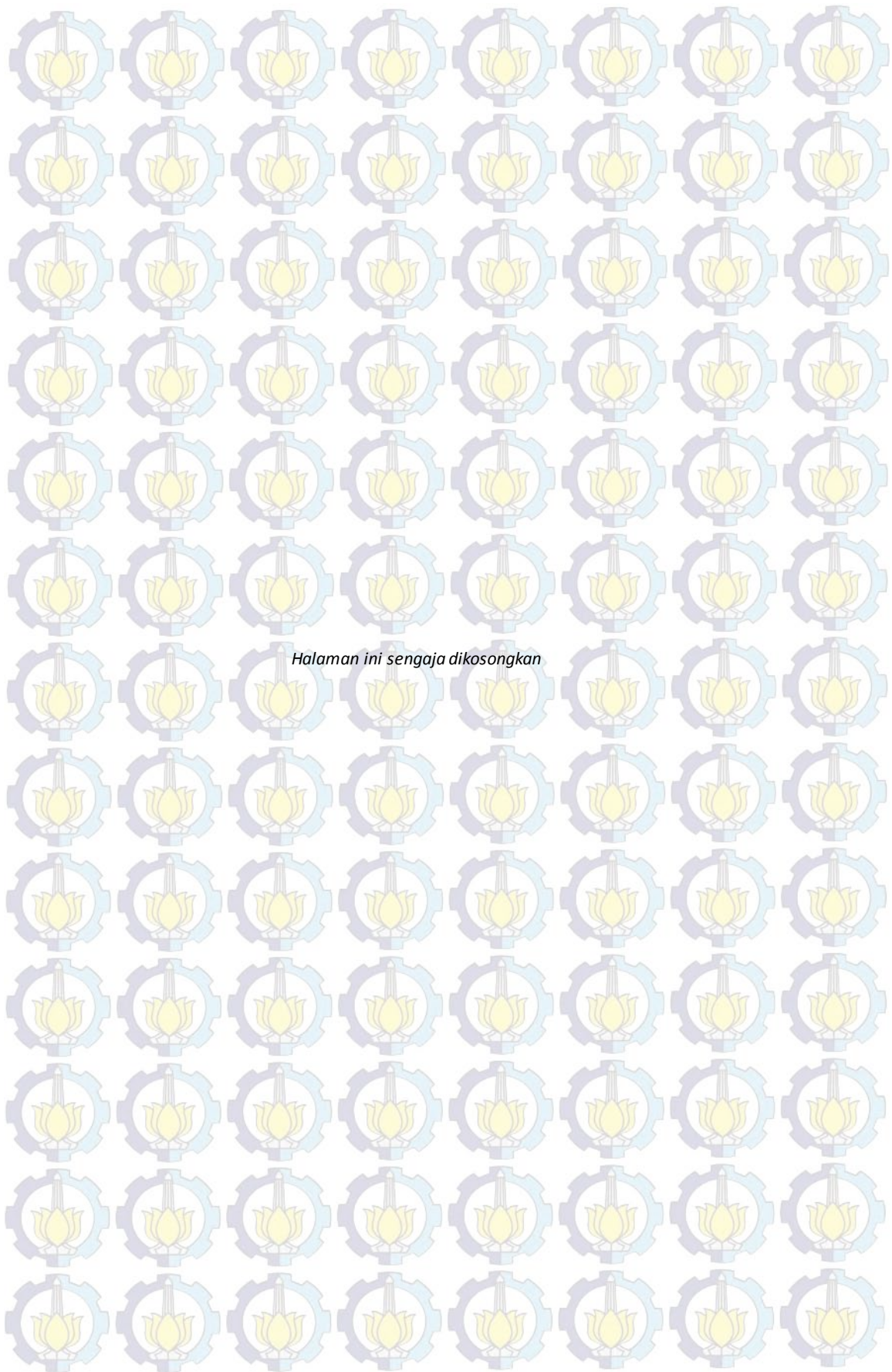
Tentunya dalam menyusun laporan tesis ini, banyak arahan dan bimbingan yang diberikan oleh Bapak Tri Joko Wahyu Adi, S.T., M.T., Ph.D. sehingga Penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Terimakasih telah mengingatkan penulis agar tetap fokus, semangat dan mengerjakan sebaik mungkin dalam menyelesaikan tesis ini.

Selesaiannya laporan tesis ini, tidak terlepas dari adanya data penelitian yang berasal dari seluruh responden penelitian yaitu praktisi dari berbagai konsultan perencanaan, kontraktor dan owner atas kesediaan dan waktunya dalam mengisi kuesioner penelitian ini disela kesibukan masing-masing.

Pastinya masih banyak sekali pihak-pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu dimana terlibat langsung maupun tidak langsung atas penyusunan tesis ini. Penulis menyadari, masih terdapat kekurangan dan kesalahan dalam laporan ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca terhadap laporan tesis ini. Semoga laporan ini dapat bermanfaat dan menambah wawasan bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2017

Penulis,
Rizki Astri Apriliani



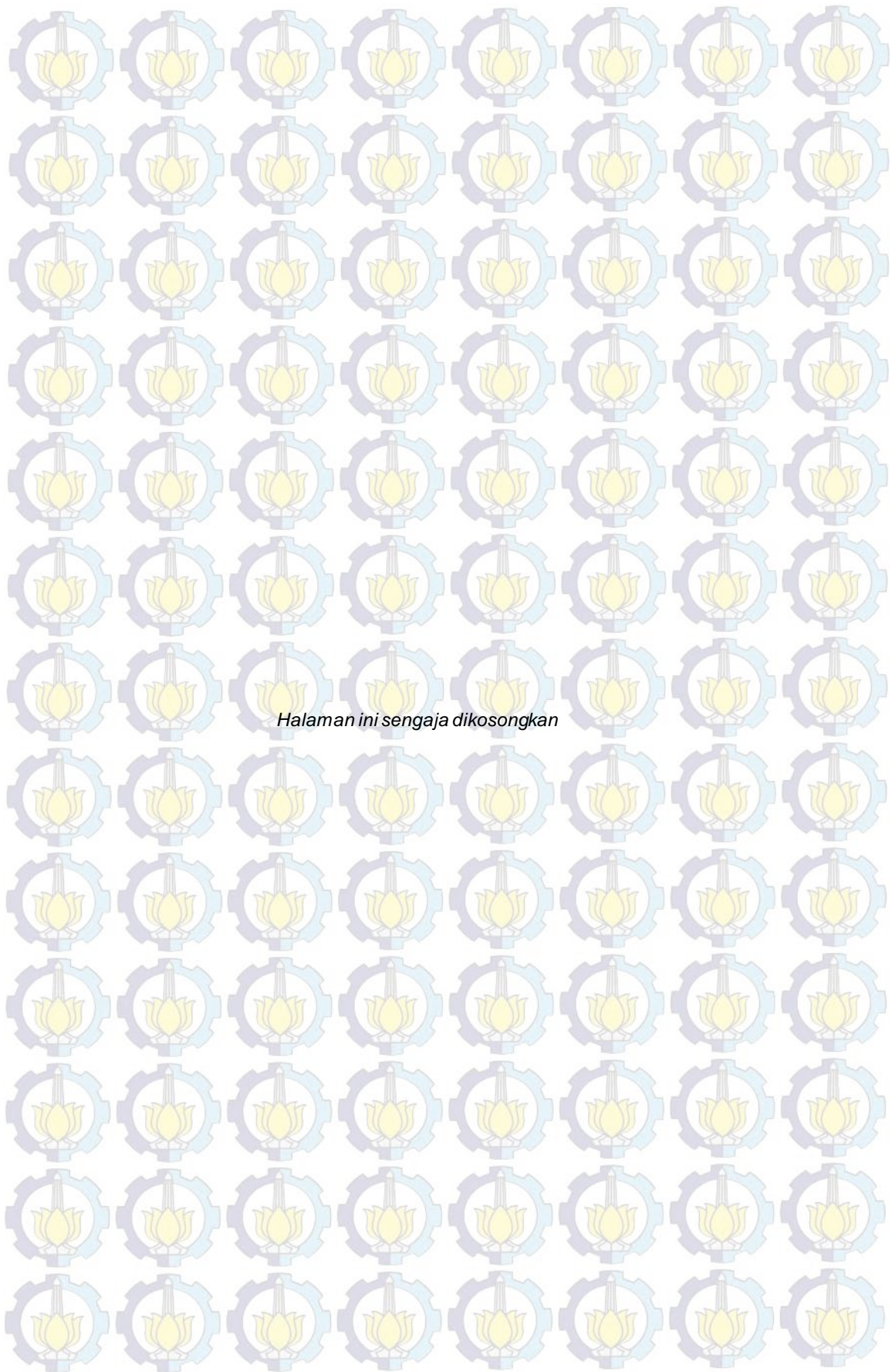
DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Manfaat Penelitian	6
1.5. Batasan Masalah	6
1.6. Sistematika Penulisan	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1. Definisi dan Terminologi	9
2.1.1. Proses Desain	9
2.1.2. <i>Constructability</i>	10
2.1.3. <i>Maintainability</i>	12
2.2. Penelitian Terdahulu	13
2.2.1. Proses Desain	13
2.2.2. <i>Constructability</i>	14
2.2.3. <i>Maintainability</i>	16
2.3. Hubungan Proses Desain dengan <i>Constructability</i> dan <i>Maintainability</i>	18
2.4. Dasar Teori Sistem Dinamik	21
2.5. Identifikasi Variabel Penelitian	25
2.6. Posisi Penelitian	28
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1. Konsep dan Model Penelitian	29
3.2. Rancangan Kuisiener	29
3.3. Penyebaran Kuisiener	31
3.4. Uji Normalitas dan Reliabilitas	32
3.5. Tahapan Penelitian	33
3.6. Pengolahan dan Analisa Data Sistem Dinamik	33
3.6.1 Konsep Pemodelan Sistem Dinamik	33
3.6.2. Konseptualisasi Model	34
3.6.3 Model Persamaan Struktural	38
3.6.3.1. Normalisasi Pembobotan	38
3.6.3.2. Regresi Linier Berganda	42
3.6.4. Verifikasi dan Validasi Model	42

	3.6.5. Simulasi Model.....	43
	3.6.6. Pembuatan Skenario Penelitian.....	43
BAB 4	ANALISA DAN PEMBAHASAN	45
	4.1. Gambaran Umum Penelitian.....	45
	4.2. Karakteristik Responden	45
	4.2.1. Pengalaman Kerja.....	46
	4.2.2. Jabatan.....	46
	4.2.3. Tingkat Pendidikan.....	47
	4.3. Uji Instrumen Penelitian	47
	4.3.1. Uji Normalitas.....	47
	4.3.2. Uji Reliabilitas (Cronbach's Alpha).....	48
	4.4. Pengolahan Data Awal.....	50
	4.4.1. Variabel Proses Desain.....	50
	4.5. Konseptualisasi Model.....	51
	4.5.1. <i>Causal Loop Diagram</i> (CLD).....	51
	4.5.2. Identifikasi Variabel Pada Model.....	51
	4.6. <i>Diagram Stock and Flow</i> (SFD)	53
	4.7. Pengolahan Data Pemodelan	55
	4.8. Verifikasi Model.....	59
	4.9. Tinjauan Analisis Grafis	61
	4.10. Validasi Model.....	63
	4.10.1. Validasi Data Testing.....	64
	4.10.2. <i>Structure Verification Test</i>	66
	4.10.3. <i>Parameter Verification Test</i>	66
	4.10.4. <i>Extreme Policy Test</i>	67
	4.10.5. <i>Behaviour Sensitivity Test</i>	69
	4.11. Skenario Pemodelan	70
	4.12. Diskusi dan Pembahasan	104
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	109
	5.1. Kesimpulan	109
	5.2. Saran	110
DAFTAR PUSTAKA		111
LAMPIRAN.....		115

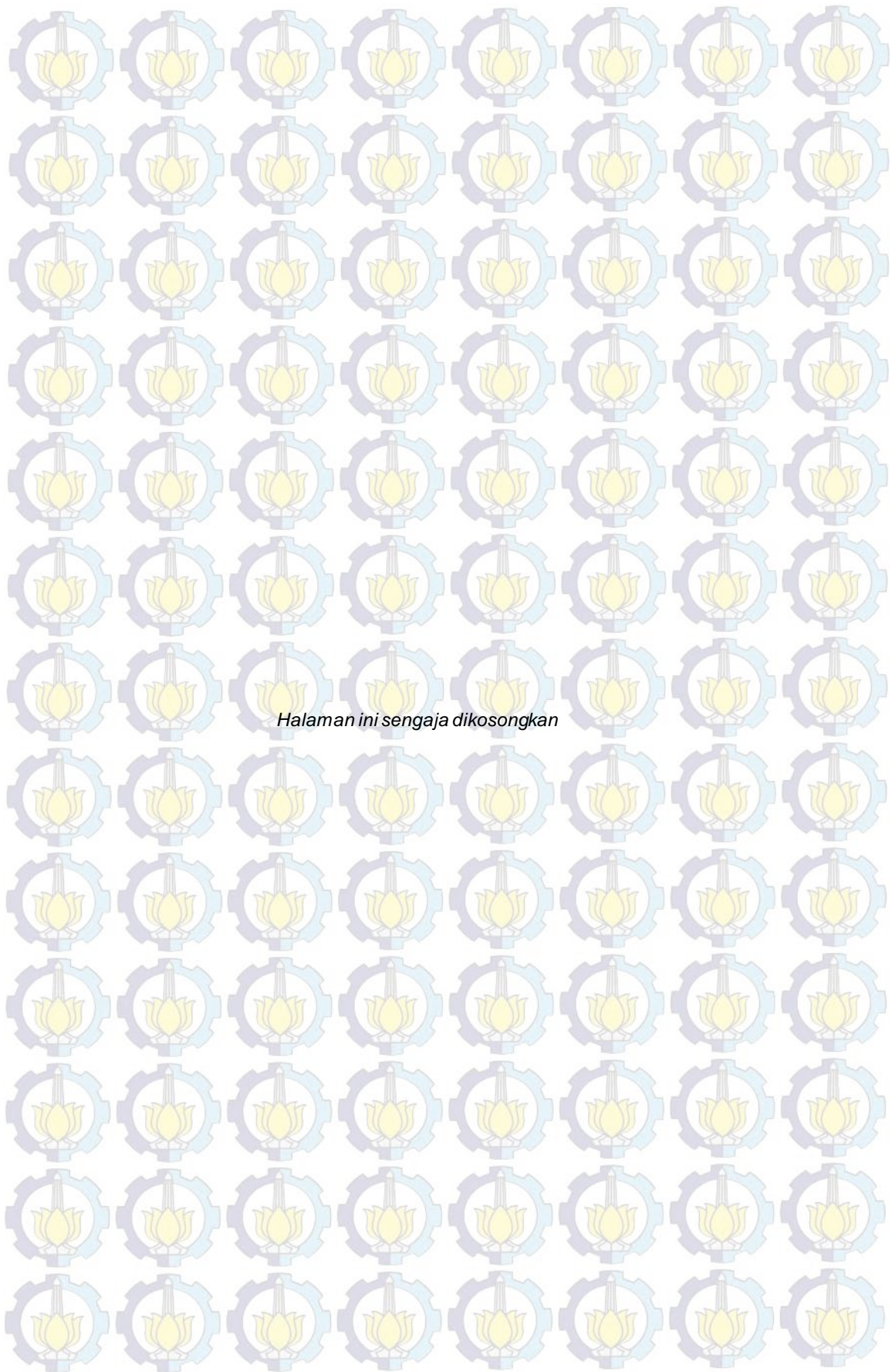
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tujuan <i>Constructability</i>	12
Gambar 2.2 Manfaat Implementasi <i>Constructability</i>	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	35
Gambar 3.2 Diagram Alir Pemodelan Sistem Dinamik.....	36
Gambar 3.3 Causal Loop Diagram (CLD) Awal.....	37
Gambar 3.4 Contoh Pembobotan Pada Variabel Desain.....	42
Gambar 4.1 Diagram Responden Berdasarkan Pengalaman.....	45
Gambar 4.2 Diagram Responden Berdasarkan Jabatan.....	46
Gambar 4.3 Diagram Responden Berdasarkan Tingkat Pendidikan.....	47
Gambar 4.4 Model SFD Utama.....	54
Gambar 4.5 Verifikasi Unit Model.....	60
Gambar 4.6 Verifikasi Model Keseluruhan.....	60
Gambar 4.7 Verifikasi Formulasi Model.....	60
Gambar 4.8 Grafik Hasil Simulasi Model Awal terhadap <i>Constructability</i>	62
Gambar 4.9 Grafik Hasil Simulasi Model Awal terhadap <i>Maintainability</i>	63
Gambar 4.10 Grafik Hasil <i>Extreme Policy Test</i>	68
Gambar 4.11 Hasil <i>Behaviour Sensitivity Test</i> Terhadap <i>Maintainability</i>	69
Gambar 4.12 Hasil <i>Behaviour Sensitivity Test</i> Terhadap <i>Constructability</i>	70
Gambar 4.13 <i>Stock Flow Diagram</i> Skenario 1.....	73
Gambar 4.14 Model Grafik Hubungan Skenario 1 terhadap Model Awal.....	75
Gambar 4.15 <i>Stock Flow Diagram</i> Skenario 2.....	76
Gambar 4.16 Model Grafik Hubungan Skenario 2 terhadap Model Awal.....	78
Gambar 4.17 <i>Stock Flow Diagram</i> Skenario 3.....	78
Gambar 4.18 Model Grafik Hubungan Skenario 3 terhadap Model Awal.....	80
Gambar 4.19 <i>Stock Flow Diagram</i> Skenario 4.....	81
Gambar 4.20 Model Grafik Hubungan Skenario 4 terhadap Model Awal.....	82
Gambar 4.21 <i>Stock Flow Diagram</i> Skenario 5.....	83
Gambar 4.22 Model Grafik Hubungan Skenario 5 terhadap Model Awal.....	85
Gambar 4.23 <i>Stock Flow Diagram</i> Skenario 6.....	86
Gambar 4.24 Model Grafik Hubungan Skenario 6 terhadap Model Awal.....	87
Gambar 4.25 <i>Stock Flow Diagram</i> Skenario 7.....	88
Gambar 4.26 Model Grafik Hubungan Skenario 7 terhadap Model Awal.....	90
Gambar 4.27 <i>Stock Flow Diagram</i> Skenario 8.....	91
Gambar 4.28 Model Grafik Hubungan Skenario 8 terhadap Model Awal.....	92
Gambar 4.29 <i>Stock Flow Diagram</i> Skenario 9.....	88
Gambar 4.30 Model Grafik Hubungan Skenario 9 terhadap Model Awal.....	94
Gambar 4.31 <i>Stock Flow Diagram</i> Skenario 10.....	96
Gambar 4.32 Model Grafik Hubungan Skenario 10 terhadap Model Awal.....	97
Gambar 4.33 <i>Stock Flow Diagram</i> Skenario 11.....	98
Gambar 4.34 Model Grafik Hubungan Skenario 10 terhadap Model Awal.....	99
Gambar 4.35 <i>Stock Flow Diagram</i> Skenario 12.....	101
Gambar 4.36 Model Grafik Hubungan Skenario 12 terhadap Model Awal.....	102



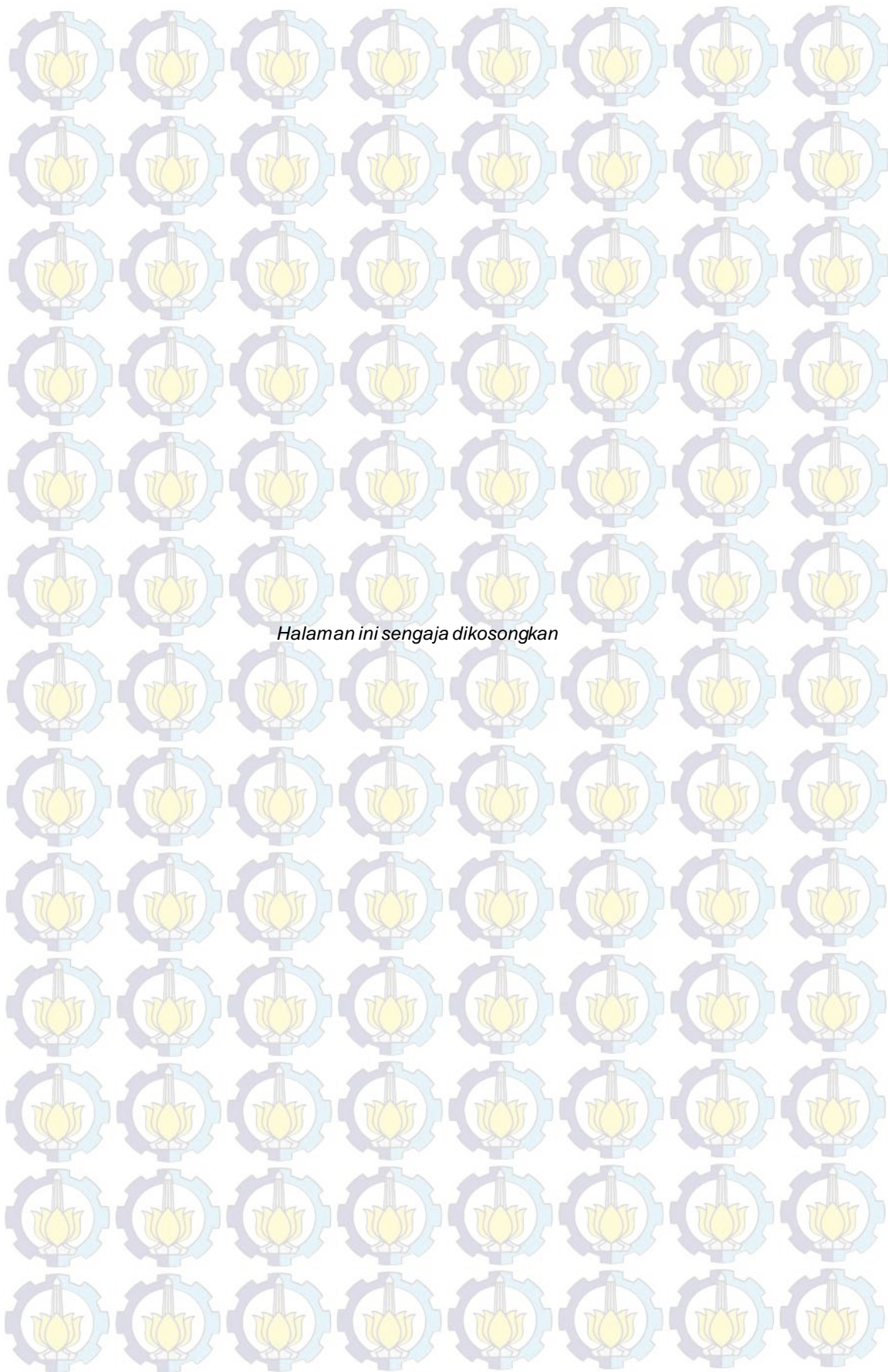
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Model Structure Test</i>	24
Tabel 2.2 <i>Model Behavior Test</i>	24
Tabel 2.3 <i>Policy Implication Test</i>	25
Tabel 2.4 Variabel Penelitian Berdasarkan Studi Literatur	26
Tabel 3.1 Skala Pengukuran Kuisioner Bagian Pertama	30
Tabel 3.2 Skala Pengukuran Kuisioner Bagian Kedua	31
Tabel 3.3 Daftar Sampel Penelitian	32
Tabel 3.4 Hubungan Kausatik	37
Tabel 3.5 Persamaan Pembobotan	39
Tabel 3.6 Contoh Kuisioner	39
Tabel 4.1 Hasil Skewness dan Kurtosis	48
Tabel 4.2 Hasil Uji Reliabilitas	49
Tabel 4.3 Kesimpulan Hasil Uji Reliabilitas	49
Tabel 4.4 Interpretasi Skor Variabel Proses Desain	50
Tabel 4.5 Identifikasi Model Variabel Desain	52
Tabel 4.6 Keterangan Simbol Yang Digunakan	54
Tabel 4.7 Nilai Pembobotan pada Variabel Proses Desain	55
Tabel 4.8 Hasil Pengolahan Data dengan Regresi Linier Berganda	57
Tabel 4.9. Pengaruh antara Proses Desain terhadap <i>Constructability</i>	59
Tabel 4.10. Pengaruh antara Proses Desain terhadap <i>Maintainability</i>	59
Tabel 4.11 Hasil Simulasi Model Awal terhadap <i>Constructability</i>	61
Tabel 4.12 Hasil Simulasi Model Awal terhadap <i>Maintainability</i>	62
Tabel 4.13 Hasil Validasi Data Testing Model terhadap <i>Constructability</i>	64
Tabel 4.14 Hasil Validasi Data Testing Model terhadap <i>Maintainability</i>	65
Tabel 4.15 Uji Struktur Model	66
Tabel 4.16 Hasil Pada <i>Extreme Policy Test</i>	68
Tabel 4.17 Skenario Parameter yang Dilakukan	70
Tabel 4.18 Hasil skenario Parameter terhadap Output	71
Tabel 4.19 Skenario Struktur yang Dilakukan	72
Tabel 4.20 Hasil Simulasi Skenario 1	74
Tabel 4.21 Hasil Simulasi Skenario 2	77
Tabel 4.22 Hasil Simulasi Skenario 3	79
Tabel 4.23 Hasil Simulasi Skenario 4	81
Tabel 4.24 Hasil Simulasi Skenario 5	84
Tabel 4.25 Hasil Simulasi Skenario 6	87
Tabel 4.26 Hasil Simulasi Skenario 7	89
Tabel 4.27 Hasil Simulasi Skenario 8	91
Tabel 4.28 Hasil Simulasi Skenario 9	94
Tabel 4.29 Hasil Simulasi Skenario 10	96
Tabel 4.30 Hasil Simulasi Skenario 11	98
Tabel 4.31 Hasil Simulasi Skenario 12	101
Tabel 4.32 Rekapitulasi Skenario Struktur terhadap <i>Constructability</i>	102
Tabel 4.33 Rekapitulasi Skenario Struktur terhadap <i>Maintainability</i>	103



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Draft Kuisioner Penelitian	115
Lampiran 2. Pengolahan Data Untuk Persetujuan Variabel.....	123
Lampiran 3. Normalisasi Pembobotan Model Awal.....	125
Lampiran 4. Normalisasi Pembobotan Skenario 1.....	126
Lampiran 5. Normalisasi Pembobotan Skenario 2.....	127
Lampiran 6. Normalisasi Pembobotan Skenario 3.....	128
Lampiran 7. Normalisasi Pembobotan Skenario 4.....	129
Lampiran 8. Normalisasi Pembobotan Skenario 5.....	130
Lampiran 9. Normalisasi Pembobotan Skenario 6.....	131
Lampiran 10. Normalisasi Pembobotan Skenario 7.....	132
Lampiran 11. Normalisasi Pembobotan Skenario 8.....	133
Lampiran 12. Normalisasi Pembobotan Skenario 9.....	134
Lampiran 13. Normalisasi Pembobotan Skenario 10.....	135
Lampiran 14. Normalisasi Pembobotan Skenario 11.....	136
Lampiran 15. Normalisasi Pembobotan Skenario 12.....	137
Lampiran 16. Data Responden Penelitian	138
Lampiran 17. Regresi Model Awal Pada Desain.....	139
Lampiran 18. Regresi Skenario 1	140
Lampiran 19. Regresi Skenario 2.....	141
Lampiran 20. Regresi Skenario 3.....	142
Lampiran 21. Regresi Skenario 4.....	142
Lampiran 22. Regresi Skenario 5.....	143
Lampiran 23. Regresi Skenario 6.....	144
Lampiran 24. Regresi Skenario 7.....	144
Lampiran 25. Regresi Skenario 8.....	145
Lampiran 26. Regresi Skenario 9.....	145
Lampiran 27. Regresi Skenario 10.....	146
Lampiran 28. Regresi Skenario 11.....	147
Lampiran 29. Regresi Skenario 12.....	147



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Industri konstruksi di Indonesia pada tahun 2015 merupakan sektor industri yang memiliki pertumbuhan lebih tinggi dibandingkan pertumbuhan ekonomi nasional (Bappenas, 2016). Industri konstruksi mampu tumbuh 6,65% di atas pertumbuhan ekonomi nasional yang hanya 4,97%. Industri ini merupakan sumber pertumbuhan ekonomi terbesar kedua (0,64%) setelah industri pengolahan (0,92%).

Nima (2001) dalam studinya tentang faktor konstruksi gedung di Malaysia, menemukan bahwa faktor-faktor seperti jenis organisasi, tingkat pendidikan, pengalaman desain, pengalaman konstruksi dan sikap insinyur secara signifikan mempengaruhi kemudahan pelaksanaan di lapangan. Hal ini tidak jauh berbeda dengan kondisi di Indonesia yang bersebelahan dengan Malaysia, dimana faktor-faktor tersebut juga merupakan hal yang mempengaruhi dalam kemudahan pelaksanaan di lapangan.

Berbagai permasalahan mengenai desain berpengaruh pada kemudahan pelaksanaan di lapangan. Maka para peneliti mencari konsep yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan seperti yang telah disebutkan sebelumnya.

Menurut Fischer dan Tatum (1997) pada tahun 1986 CII (*Construction Industry Institute*) membuat konsep *constructability* yakni penggunaan pengetahuan konstruksi yang optimal dan pengalaman dalam perencanaan konseptual, rekayasa, pengadaan, dan fase operasional di lapangan untuk dapat mencapai tujuan proyek secara keseluruhan.

Meskipun konsep *constructability* dapat diterapkan pada berbagai tahap selama siklus hidup proyek, pengaplikasian selama tahap awal yakni desain lebih efektif karena banyak keputusan yang dibuat selama tahap desain berdampak signifikan pada kinerja proyek. Hal ini juga dipengaruhi karena manfaat maksimal yang bisa didapatkan dalam penerapan *constructability* terjadi pada saat awal proyek yakni fase desain (Fischer dan Tatum, 1997).

Di Indonesia sendiri sudah terdapat beberapa penelitian tentang konsep *constructability*. Penerapan konsep *constructability* dapat dilakukan pada tahap perencanaan konsep, DED dan pelaksanaan konstruksi. Dengan menerapkan konsep *constructability* pada banyak proyek dapat menyebabkan peningkatan biaya, namun menyebabkan penghematan waktu yang nantinya akan mengurangi biaya total dari proyek. Konsep dari *constructability* ini dapat diterapkan dengan baik apabila terdapat komunikasi yang efektif antara pihak desainer dan kontraktor. Pengintegrasian pengetahuan mengenai konstruksi yang dimiliki oleh para kontraktor ke dalam tahap perencanaan sangat penting. Hal ini untuk memastikan desain tersebut dapat dilaksanakan di lapangan untuk dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas kinerja proyek secara keseluruhan.

Arditi, dkk (2002) pada penelitiannya menemukan bahwa 95.7% perencana profesional mengetahui dan memahami konsep *constructability*. Lebih dari setengah dari jumlah responden yakni sebesar 50.7% menunjukkan bahwa perusahaan konsultan perencana mereka dibangun dengan menerapkan konsep *constructability* pada organisasi mereka. Sementara itu survey yang dilakukan pada kontraktor menunjukkan bahwa 90% dari mereka tidak mengetahui dan memahami konsep *constructability*. Konsep *constructability* lebih banyak diterapkan pada perusahaan konsultan perencanaan. Hal ini berkaitan dengan persepsi para perencana bahwa *constructability* memiliki manfaat yang besar jika diterapkan dalam tahap desain.

Proses desain yang baik tidak hanya mempengaruhi kemudahan pelaksanaan di lapangan, namun juga mempengaruhi kemudahan dalam pemeliharaan. Apabila dalam proses desain sudah memperhatikan proses pemeliharaan kedepannya, hal tersebut akan memudahkan dalam proses pemeliharaan pada saat bangunan tersebut sudah di operasionalkan. Selama ini yang sering terjadi sebuah desain setelah selesai dilaksanakan mengalami kesulitan dalam hal pemeliharaan atau perawatannya. Sampai saat ini masih jarang perencana yang memperhatikan tahapan pemeliharaan kedepannya.

Penelitian yang dilakukan oleh Seeley (1987) dalam Assaf (1996) menunjukkan dari 51 sampel bangunan yang diteliti, 58% mengalami kerusakan yang disebabkan oleh kesalahan desain, 38% dari kesalahan saat pelaksanaan, 12%

dari material yang digunakan dan 11% dari persyaratan yang tak terduga. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa biaya pemeliharaan dari bangunan yang memiliki umur tidak lebih dari 25 tahun 56% dari total biaya secara keseluruhan digunakan untuk perbaikan yang disebabkan oleh kesalahan desain atau spesifikasi (Ranson, 1981 dalam Assaf (1996).

Biaya pemeliharaan yang tinggi semakin bertambah hal ini disebabkan oleh desain yang tidak efisien (Al-Hammad dkk. 1997; Dunston dan Williamson 1999), pekerja konstruksi yang tidak memenuhi syarat (Assaf dkk, 1995) dan praktek pemeliharaan yang tidak kompeten (Arditi, 1999). Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan pemeliharaan pada tahap awal, yaitu pada tahap perencanaan dan tahap desain konstruksi bangunan penelitian sebelumnya merekomendasikan pertimbangan bahwa pada pemeliharaan selama tahap ini akan memberikan dampak yang tertinggi untuk biaya siklus hidup bangunan dan kinerja bangunan.

Menurut Hanif (2007) dalam Femi (2014) kesalahan yang paling sering dilakukan oleh desainer dalam mendesain bangunan adalah berfokus pada tampilan elemen estetika terbaik dan tidak memikirkan pemeliharaan, karena sebagian besar dari desainer beranggapan bahwa proses pemeliharaan baru setelah bangunan selesai. Anggapan tersebut salah karena perhatian terhadap pemeliharaan harus dimulai pada saat tahap awal dalam proses desain. Rozita (2006) dalam Femi (2014) juga menambahkan bahwa efektivitas bangunan tidak tergantung pada nilai estetika tetapi pada kemampuan *maintainability* atau kemudahan dalam pemeliharaan di masa kedepannya. Hal yang dapat dilakukan untuk mengoptimalkan *maintainability* adalah dengan menggabungkan fungsi, aksesibilitas, daya tahan dan kemudahan perbaikan (Dunston dan Williamson, 1999)

Razak (2012) menjelaskan bahwa hubungan antara proses desain, pelaksanaan dan pemeliharaan saling terkait satu sama lain namun tidak mudah dibedakan. Hal tersebut menyebabkan tidak jarang sebuah desain mengalami permasalahan terkait dengan kemudahan pelaksanaan dan kemudahan dalam pemeliharaan. Peran penting dari desain dalam tahap awal proyek adalah untuk pengelolaan. Desain yang dibuat secara fungsional mampu menaikkan perekonomian dan memberikan kenyamanan. Sementara desain non fungsional

dapat menghambat semua jenis kegiatan, mengurangi kualitas pelayanan dan meningkatkan biaya.

Proyek bangunan memiliki perbedaan yang jelas antara fase pengembangan proyek (yaitu desain dan konstruksi), dan tahap operasi dan pemeliharaan suatu fasilitas. Dahl dkk (2005) menjelaskan selama masa pemakaian fasilitas bangunan, biaya operasi dan pemeliharaan seringkali jauh melebihi biaya awal sebuah fasilitas. Keputusan yang dibuat di awal tahapan proyek memiliki pengaruh yang kuat terhadap *life cycle cost* sebuah bangunan. *Constructability* berkaitan dengan sistem manajemen proyek yang secara optimal menggunakan pengetahuan dan pengalaman konstruksi untuk meningkatkan project delivery. Pentingnya memerhatikan *constructability* pada proses perancangan karena banyak keputusan penting dibuat selama tahap ini seperti pemilihan material, komponen standar, metode konstruksi. Dahl dkk (2005) juga menambahkan bahwa pengetahuan mengenai operasional dan pemeliharaan yang bertujuan untuk memudahkan pada saat pemeliharaan bangunan perlu dimasukkan dan dipertimbangkan lebih awal yakni dalam proses desain untuk membuat keputusan penting.

Arditi, dkk (1999) juga meneliti mengenai *maintainability* pada bangunan dari sudut pandang perencana. 79% responden menyatakan bahwa mereka selaku perencana sering menerima training yang berkaitan dengan operasional bangunan dan *maintenance* pada bangunan. Hanya 19% dari responden yang menyatakan jarang dan 2% menyatakan tidak pernah. Sementara mengenai pengetahuan perencana (arsitek/ engineer) pada konsultan perencana mengenai *maintainability* menunjukkan 47% sangat baik, 34% baik, 17% cukup dan hanya 1% buruk. Tahapan desain merupakan tahapan paling penting selama siklus hidup proyek. Hal tersebut dikarenakan keputusan penting banyak dibuat pada tahap ini. Semua keputusan yang diambil berpengaruh pada tahap selanjutnya begitu pula sebaliknya. Oleh sebab itu pada perencana yang terlibat pada tahap desain harus memiliki hubungan yang baik dengan anggota proyek lainnya yang terlibat. Penelitian Arditi, dkk (1999) menunjukkan sebanyak 85% dari responden yakni manajer perusahaan properti rutin melakukan komunikasi dengan perencana selama tahapan desain.

Selama ini penelitian yang menggunakan pemodelan hubungan antara proses desain dan *constructability* pernah dilakukan oleh Hijazi, dkk (2009) dan Tauriainen, dkk (2015) menggunakan *Building Information Model* (BIM). Sedangkan penelitian yang menggunakan pemodelan hubungan antara proses desain dengan *maintainability* pernah dilakukan oleh Chew, dkk (2002) menggunakan *neural network*. Pada penelitian ini digunakan metode sistem dinamik. Karena dari proses desain, *constructability* dan *maintainability* ketiganya berjalan berdasarkan waktu. Proses desain mempengaruhi *constructability* di masa yang akan datang. Proses desain juga mempengaruhi *maintainability* di masa yang akan datang. *Constructability* juga mempengaruhi *maintainability* di masa yang akan datang. Karena sifat dari ketiganya yang dinamis maka salah satu cara untuk memodelkan yang dapat digunakan yakni sistem dinamik. Tujuan penggunaan sistem dinamik ini adalah untuk merepresentasikan hubungan antar faktor dan dinamisnya perjalanan proyek.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan permasalahan pokok dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana keterkaitan hubungan faktor desain yang mempengaruhi *constructability* dan *maintainability*?
2. Seberapa besar pengaruh hubungan antar faktor tersebut terhadap peningkatan *constructability* dan *maintainability* pada proyek konstruksi?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan di atas maka tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Menganalisa hubungan faktor desain yang mempengaruhi *constructability* dan *maintainability*.
2. Mengembangkan model yang dapat digunakan untuk memprediksi besarnya pengaruh hubungan antar faktor desain terhadap peningkatan *constructability* dan *maintainability* pada proyek konstruksi.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini dalam pengembangan keilmuan yakni dapat bermanfaat bagi penelitian selanjutnya yang akan meneliti lebih jauh mengenai permasalahan *constructability* dan *maintainability* di Indonesia yang berkaitan dengan proses desain. Manfaat lain yakni manfaat praktis dari penelitian ini dapat digunakan oleh konsultan perencana untuk dapat meningkatkan *constructability* dan *maintainability* dalam proses desain.

1.5. Batasan Penelitian

Penelitian ini memiliki batasan sebagai berikut:

1. *Constructability* yang dimaksud dalam penelitian ini adalah hubungan antara hasil desain dari konsultan dengan kemudahan kontraktor dalam pelaksanaan pembangunannya di lapangan.
2. *Maintainability* yang dimaksud dalam penelitian ini adalah hubungan antara hasil desain dari konsultan dengan kemudahan pihak pemilik bangunan dalam pemeliharaan bangunan.
3. Penelitian ditujukan pada *team leader* dan tenaga ahli (*expert*) yakni orang yang memiliki pengalaman dan pengetahuan dalam perencanaan proyek bangunan gedung pada konsultan perencana di Surabaya yang tergabung dalam INKINDO.

1.6. Sistematika Penulisan

Bab 1 merupakan bab pendahuluan yang menjabarkan mengenai latar belakang penelitian, yang dijelaskan melalui pendekatan teoritis dan studi literatur tentang proses desain, konsep *constructability* dan konsep *maintainability*. selain itu juga menjabarkan rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

Bab 2 merupakan bab kajian pustaka yang menjabarkan teori-teori yang memperkuat dan mendasari dilakukan penelitian ini. Meliputi proses desain, konsep *constructability* dan konsep *maintainability*. Pustaka acuan dihasilkan dari proses studi literatur pada beberapa jurnal, penelitian dan buku.

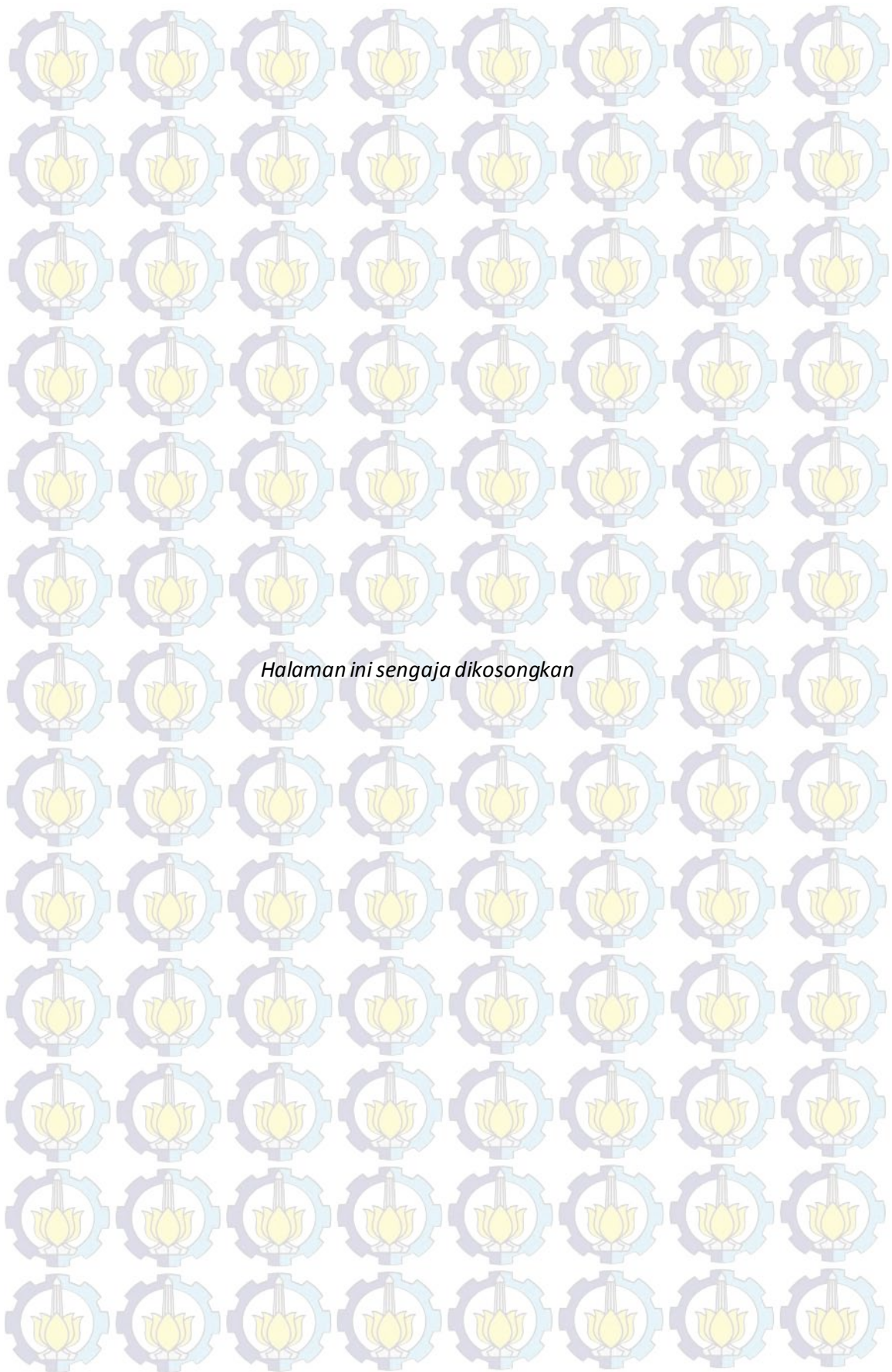
Bab 3 merupakan bab metodologi penelitian yang menjabarkan tentang konsep dan model penelitian, identifikasi dan cara pengukuran variabel penelitian,

populasi dan sampel penelitian serta metode pengumpulan data, pengukuran data dan analisis data.

Bab 4 merupakan bab hasil dan pembahasan yang menjabarkan tentang hasil dan pembahasan dari data yang diperoleh melalui metode survei kuisioner. Pada bab ini dijelaskan mengenai faktor desain yang berpengaruh terhadap peningkatan *constructability* dan *maintainability* pada proyek konstruksi dengan analisis deskriptif dan pemodelan menggunakan metode sistem dinamik. Terdapat sub-sub bab pembahasan yang berdasarkan teoritis dan studi literatur.

Bab 5 merupakan bab kesimpulan dan saran yang menjabarkan penarikan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan serta saran untuk penelitian selanjutnya.

Lampiran berisi berbagai data yang disertakan mulai data rangkuman penelitian, kuisioner, hasil survei dan hasil analisa atau interpretasi hasil penelitian.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi dan Terminologi

2.1.1. Proses Desain

Menurut Akers dkk (2000) desain pada bangunan merupakan proses memperoleh seluruh informasi yang berkaitan dengan konstruksi bangunan yang harus memenuhi persyaratan dari owner dan juga kenyamanan publik, kesehatan, keselamatan dan persyaratan keamanan. Tujuan utama dari proses desain yakni mengumpulkan seluruh informasi yang berkaitan dengan bangunan konstruksi dapat dicapai dengan output berupa gambar, rencana, menunjukkan apa yang akan dibangun, spesifikasi material, peralatan yang dimasukkan ke bangunan dan kontrak konstruksi antara klien dan kontraktor. Desainer juga harus ikut mengawasi proses pelaksanaan. Hal tersebut untuk memastikan klien bahwa pengumpulan informasi di proses desain berguna proses konstruksi bangunan. Pada sistem desain terdiri atas tahapan yang dilakukan untuk mendapatkan pengambilan keputusan yang terbaik. Persyaratan atau prosedur yang harus dilakukan yakni (1) Analisis sistem bangunan; (2) Sintesis, penyeleksian komponen untuk membentuk tujuan yang spesifik; (3) Penilaian performa sistem, di dalamnya termasuk membandingkan dengan alternatif sistem; (4) *Feedback*, untuk menganalisis dan mensintesis informasi yang diperoleh pada evaluasi sistem untuk meningkatkan desain. Pada prosedur desain secara tradisional terdiri dari beberapa tahap. Tahapan tersebut oleh Akers dkk (2000) dibagi menjadi berikut:

1. Pengembangan program, bertujuan untuk mengumpulkan informasi dari bangunan yang akan dibangun untuk menentukan persyaratan bangunan dan user dari bangunan tersebut.
2. Skematik atau tahapan konseptual, bertujuan untuk menerjemahkan program proyek ke gambar.
3. Pengembangan desain, di akhir tahap pengembangan desain, gambar dan spesifikasi cukup lengkap untuk mendirikan dan mendefinisikan ukuran, fungsi, konfigurasi, ruang, material, struktur bangunan dan sistem bangunan.

4. Tahapan kontrak dokumen, dokumen konstruksi dikumpulkan dari dokumen pengembangan desain. Di dalamnya terdapat gambar arsitektural dan spesifikasi untuk melengkapi proyek, dan keseluruhannya berdasarkan pada dokumen penawaran dan dokumen kontrak.

2.1.2. Constructability

Terdapat beberapa definisi dari *constructability*. *Constructability* didefinisikan oleh *Construction Industry Institute* (CII 1986) sebagai penggunaan pengetahuan konstruksi yang optimum dan pengalaman dalam operasi perencanaan, desain, pengadaan dan lapangan untuk mencapai tujuan proyek secara keseluruhan dan menekankan pentingnya keseluruhan tujuan proyek (Alina itwe dkk, 2014).

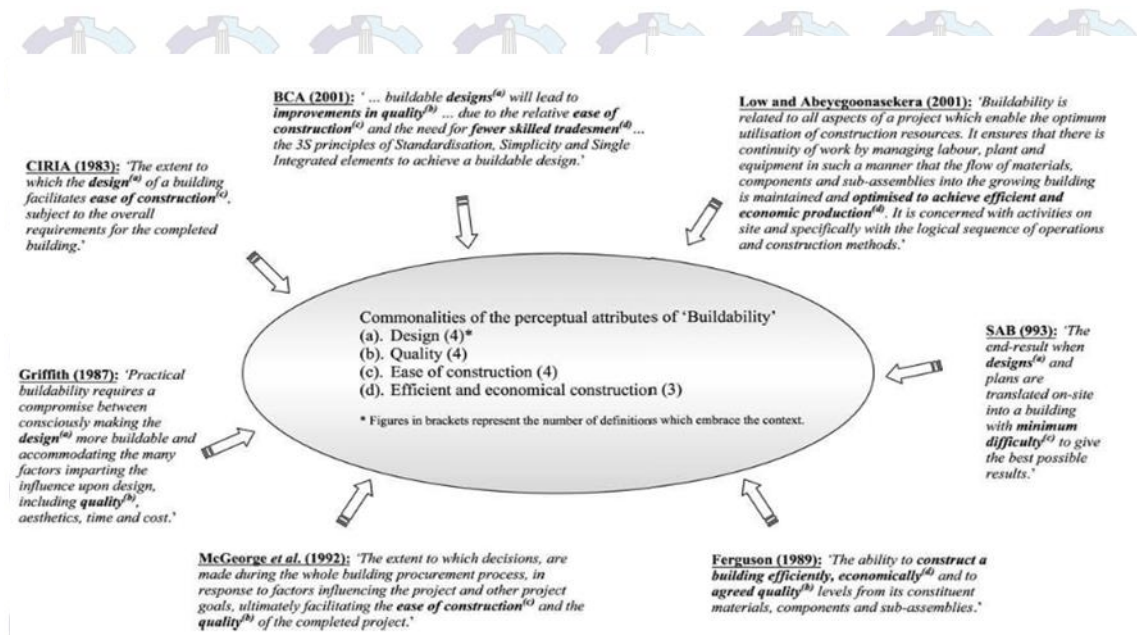
Alina itwe dkk (2014) juga mengemukakan bahwa *Construction Industry Institute* (CII) - Australia (1995) telah memberikan batasan dan ruang lingkup jelas, yang memberikan pengertian bahwa perlunya mempertimbangkan aspek pelaksanaan pada tahap desain dan sebaliknya pada tahap pelaksanaan konstruksi harus tetap berpegang pada prinsip-prinsip desain yang telah diterapkan pada solusi desain.

Construction Industry Institute (CII) - Australia (1996) juga mendefinisikan *constructability* sebagai pemanfaatan secara optimum pengetahuan dan pengalaman konstruksi pada proses perencanaan, perancangan, pengadaan dan pelaksanaan konstruksi untuk mencapai tujuan proyek (Fischer dan Tatum, 1997).

Constructability di Inggris dikenal dengan istilah *buildability*, yang merupakan teknik manajemen proyek yang meliputi tinjauan rinci gambar desain, model, spesifikasi-spesifikasi, dan proses konstruksi dengan satu atau lebih yang sangat berpengalaman insinyur konstruksi atau spesialis, bekerja dengan tim proyek sebelum proyek diletakkan keluar untuk tawaran dan juga sebelum mobilisasi konstruksi (Fischer dan Tatum, 1997).

Ferguson (1989) dalam Fischer dan Tatum (1997) juga mendefinisikan *constructability* sebagai kemampuan untuk membangun sebuah bangunan yang efisien, ekonomis dan tingkat kualitas dari material yang telah disepakati oleh penyusunya, komponen dan pemasangannya.

Menurut Russell dkk (1994) dalam Adianto dkk (2006) manfaat *constructability* dapat dipisahkan menjadi manfaat kuantitatif dan manfaat kualitatif. Manfaat secara kuantitatifnya adalah penghematan biaya rekayasa konstruksi, pengurangan waktu kerja dan penghematan biaya konstruksi. Sementara manfaat kualitatifnya antara lain menekan munculnya masalah, aksesibilitas site yang lebih baik, mengurangi gangguan-gangguan pada waktu kerja, meningkatkan keselamatan kerja, mengurangi rework, pencapaian tujuan lebih fokus, pengakuan pentingnya keterlibatan masing-masing personil kerja, peningkatan komitmen dari anggota tim kerja, peningkatan komunikasi kerja, meningkatkan kerjasama antara tim konstruksi dengan stakeholder lain, tercapainya fleksibilitas konstruksi, pengurangan biaya *maintenance, protected equipment, smoother start up*, penyewaan lahan tambahan lebih singkat, efisiensi produksi dapat meningkat, pengurangan penumpukan material, efisiensi produksi meningkat, kejelasan untuk ekspansi site, alat bagi kontraktor untuk mendapatkan pekerjaan atau proyek. Terdapat juga manfaat *constructability* secara langsung dan tidak langsung. Manfaat langsung tersebut antara lain: perencanaan konstruksi jadi lebih mudah, biaya desain maupun konstruksi dapat ditekan, *schedule* konstruksi dapat diperpendek, kualitas kerja dan hasil dapat lebih baik, terdapat tanggung jawab dan komitmen yang realistis untuk pekerjaan selanjutnya dan peranan *owner* telah dimulai sedini mungkin. Sementara manfaat tidak langsung adalah sebagai berikut secara tidak langsung membangun kerjasama tim dengan satu visi untuk mencapai tujuan proyek, masing-masing *stakeholder* bekerja dalam *mutual benefit*, adanya silang penyaluran disiplin ilmu, terjadi transfer pengalaman, kontraktor akan lebih memahami desain dan begitu juga sebaliknya; desainer akan lebih memahami konstruksi proyek, terbuka peluang untuk inovasi desain dan konstruksi, *learning curve* dapat diperpendek, sebagai keunggulan untuk dapat bersaing dalam bisnis konstruksi. Wong dkk (2007) merangkum mengenai definisi dari *constructability* pada Gambar 2.1. Berdasarkan hasil rangkuman tersebut didapatkan lima hal pokok dalam tujuan *constructability* yakni (1) Integrasi pengetahuan dan pengakamn konstruksi;(2) Melibatkan berbagai tahapan proyek; (3) Optimalisasi; (4) Mencapai tujuan proyek; (5)Memudahkan pelaksanaan konstruksi.



Gambar 2.1 Tujuan *Constructability* (Wong dkk,2007)

2.1.3. Maintainability

Terdapat beberapa definisi yang berkaitan dengan *maintainability* pada bangunan. *British Standards Institute* (1984) mendefinisikan *building maintainability* sebagai pekerjaan yang dilakukan dalam rangka untuk menjaga, memulihkan atau meningkatkan setiap bagian dari bangunan dan layanan yang mengelilinginya untuk mempertahankan utilitas dan nilai bangunan (Chew dkk, 2004).

Maintainability oleh Moua (2001) didefinisikan sebagai pekerjaan yang dilakukan untuk menjaga, memulihkan dan meningkatkan setiap fasilitas. Fungsi dari pemeliharaan adalah untuk memaksimalkan estetika dan nilai ekonomi dari aset tetap sebuah perusahaan atau organisasi. *Maintainability* juga berkaitan dengan biaya yang dikeluarkan selama siklus hidup bangunan dan meminimalkan terjadinya resiko dalam proyek. Sehingga *maintainability* juga didefinisikan sebagai kemampuan untuk mempertahankan bangunan dalam jangka waktu tertentu serta meningkatkan kinerja bangunan selama siklus hidup bangunan (Blanchard dkk, 1995;. Chew, 2010; Shaomin dkk, 2010).

2.2. Penelitian Terdahulu

2.2.1. Proses Desain

Alinaitwe (2014) mengungkapkan bahwa *Construction Industry Research Information Association* (CIRIA) (1986) mengemukakan 7 hal yang disebut dengan “*Guideline for Buildability*”, antara lain melaksanakan peninjauan dan desain, rencana untuk kebutuhan produksi di lapangan, rencana urutan pelaksanaan operasional dan lampiran awal, rencana untuk kesederhanaan perakitan, detail untuk pengulangan maksimal dan standarisasi, detail untuk toleransi yang dilakukan, menentukan bahan material yang kuat dan sesuai.

Konsep CIRIA diatas kemudian berkembang menjadi 16 prinsip “*Design Principles*” yakni: peninjauan lokasi dengan benar, pertimbangan akses pada tahap desain, pertimbangan adanya gudang, desain untuk waktu minimum di bawah tanah, desain untuk lampiran awal, menggunakan material yang sesuai, ketersediaan tenaga kerja yang terampil, perakitan yang sederhana, rencana pengulangan/modularisasi yang maksimum, memaksimalkan penggunaan rencana awal yang dibuat, membuat toleransi desain yang masuk akal, mengikuti urutan pelaksanaan pada proyek, mencegah kembalinya *visit trades*, rencana untuk menghindari kerusakan selama operasional, desain untuk konstruksi yang aman, komunikasi yang jelas.

Konsep mengenai prinsip desain ini terus dikembangkan oleh Boyce (1991) yang dikenal dengan “*The 10 Commandments of KISS Design*” yakni *Keep it straight and simple; Keep its specification simple; Keep it shop standard; Keep its standards simple; Keep it standard size; Keep it same size; Keep it square and squatty; Keep it support simple; Keep it site suitable; and Keep its schedule sacred*. Konsep dari “*Guide for Buildability*”, “*Design Principle*”, “*The 10 Commandments of KISS Design*” berfokus pada permasalahan teknis.

Penelitian yang dilakukan oleh Wong (2011) menghasilkan variabel yang terkait dengan proses desain yakni faktor spesifik pada *site*, *below ground*, cuaca, inovasi, koordinasi, *detailing*, *tools*, *plant* dan *equipment*, material yang digunakan. Sedangkan variabel yang terkait dengan output desain seperti keselamatan, *site layout*, aksesibilitas, lingkungan, penggunaan sumber daya, sistem material, urutan

penginstalan, standarisasi, penggunaan pre fabrikasi. Masing-masing variabel memiliki atribut masing-masing yang dapat digunakan untuk pengukuran variabel tersebut.

2.2.2. Constructability

Fischer dan Tatum (1997) mengungkapkan bahwa *Construction Industry Institute* (CII, 1986) mengembangkan konsep *constructability* menjadi 17 konsep yang terdiri dari 3 fase selama *life cycle project*, yaitu: *project conceptual planning*, *design and procurement* dan *field operation*. Tujuan dari konsep ini adalah untuk mengetahui cara penerapan *constructability* pada proyek konstruksi. Berikut merupakan 17 konsep yang dibagi menjadi 3 fase yaitu *conceptual planning phase*, *design and procurement phase* dan *field operation phase*. Pada tahapan *conceptual planning* terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan antara lain program *constructability* merupakan bagian integral dari pelaksanaan proyek, perencanaan proyek melibatkan pengalaman dan pengetahuan, anggota dalam proyek konstruksi harus memiliki berbagai macam pengetahuan, keseluruhan jadwal proyek menyesuaikan harus sensitive terhadap pelaksanaan, pendekatan yang digunakan pada proses desain mempertimbangkan metode konstruksi, penataan site layout mempertimbangkan efisiensi konstruksi, tanggung jawab tim proyek yang terlibat untuk *constructability* diidentifikasi lebih awal, pengaplikasian teknologi yang canggih. Tahap desain dan *procurement* di dalamnya membahas mengenai *constructability* pada proyek meningkat ketika jadwal desain dan *procurement* harus segera diselesaikan, dilakukan konfigurasi desain agar dapat mengefisieni pelaksanaan, *constructability* meningkat ketika elemen yang digunakan mengikuti standar desain, *constructability* meningkat ketika mempertimbangkan efisiensi pelaksanaan dalam pengembangan spesifikasi, *constructability* meningkat ketika dilakukan modularisasi desain/preassembly untuk memfasilitasi fabrikasi, transportasi dan instalasi, aksesibilitas yang mempertimbangkan masuknya material dan peralatan, desain dan konstruksi memfasilitasi konstruksi di bawah kondisi cuaca buruk, urutan desain dan konstruksi harus memfasilitasi pembentukan sistem dari awal sampai akhir. Sedangkan pada tahap operasional mengatur tentang *constructability* meningkat ketika inovasi metode konstruksi digunakan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Chua (2003) identifikasi proses *constructability* yang harus diperhatikan untuk dapat mencapai kemudahan pelaksanaan di lapangan organisai tim desain, pengumpulan data, identifikasi terhadap kendala, pengembangan program, evaluasi pilihan metode konstruksi, pengembangan awal desain, pilihan pemeriksaan, desain akhir, pengembangan paket kontrak, prosedur fabrikasi dan proses instalasi.

Penelitian yang dilakukan oleh Akpan dkk (2014) mengidentifikasi lebih lanjut mengenai prinsip dari *constructability* meliputi investigasi pada site, pengembangan rencana proyek, pemilihan metode konstruksi, keterlibatan anggota konstruksi, memahami klien dan tujuan proyek, mengikuti jadwal konstruksi, penyederhanaan desain, proses pembangunan, standarisasi, modularisasi, *virtual construction*, urutan praktis kerja, pertimbangan adanya penyimpanan material, sistem konstruksi yang aman, ketrampilan tenaga kerja yang tersedia, penggunaan material yang sesuai, maksimasi *plant*, pemberian informasi yang jelas dan detail, pembuatan toleransi yang masuk akal, mempertimbangkan efek cuaca dalam pemilihan bahan konstruksi.

Terdapat tahapan dalam proses *constructability* menurut Zolfagharian dkk (2012) yakni tahapan mengorganisir tim desain, mengumpulkan data, mengidentifikasi kendala atau masalah, mengembangkan program, evaluasi pilihan *framing*, mengembangkan desain awal, pemeriksaan pilihan, proses desain akhir, mengembangkan paket penawaran, prosedur penawaran, prosedur fabrikasi, proses instalasi. Integrasi konsep *constructability* selama siklus hidup proyek didukung oleh Arditi dkk. (2002) yang menunjukkan bahwa 87% dari perusahaan desain yang disurvei menggunakan tinjauan *constructability* selama tahap *design development*. Selain itu, Motsa et al. (2008) menegaskan bahwa 58% perusahaan desain di Afrika Selatan menggunakan *constructability* selama tahap proposal dan 50% selama tahap proposal terperinci. Hal ini mengidentifikasikan bahwa sebagian besar perusahaan desain yang disurvei melakukan integrasi *constructability* sebagai bagian dari keseluruhan proses untuk meningkatkan *building performance*, yang direkomendasikan oleh sebagian besar peneliti (O'Connor dan Miller 1994) dalam Othman (2011). Mendelsohn (1997) dalam Othman (2011) juga menambahkan *constructability* harus diterapkan pada tahap awal dan dianggap sebagai tujuan

penting dalam semua tahap proses konstruksi. Ini karena kemampuannya untuk mempengaruhi biaya proyek dan menambah nilai keuangan yang lebih baik. Pada skala 1-5, Motsa dkk (2008) mengidentifikasi dan memberi peringkat manfaat penerapan *constructability* pada Gambar 2.1. manfaat tertinggi dari penerapan konsep *constructability* adalah ‘better design’ yakni mendapatkan hasil desain yang lebih baik dari sebelumnya.



Gambar 2.2 Manfaat Implementasi *Constructability* (Motsa dkk, 2008)

2.2.3. Maintainability

Konsep *maintainability* secara resmi diawali oleh militer Amerika Serikat tahun 1954 (Blanchard dan Lowery, 1969 dalam Blanchard dkk, 1995). *Maintainability* didefinisikan sebagai kemampuan item, pada kondisi digunakan, harus dipertahankan atau dikembalikan ke keadaan dimana dapat menjalankan fungsi yang diperlukan, waktu pemeliharaan yang dilakukan harus sesuai dengan prosedur. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat pemeliharaan bangunan di mana secara umum sebagian besar faktor-faktor ini bervariasi tergantung pada sifat budaya pemeliharaan di daerah tertentu. Kesederhanaan desain, perakitan / pembongkaran, standarisasi, alat dan keterampilan personil pemeliharaan merupakan faktor pemeliharaan yang lebih terfokus pada kriteria desain (Chen dan Cai, 2003 dalam Sulaiman, 2013).

Penelitian Moua (2001) juga mengeluarkan konsep “*Maintainability Design Characteristic*” yang memperhatikan *maintainability* yakni aksesibilitas, standarisasi, modularisasi, supplier yang terpilih, kemampuan yang preventive

terhadap pemeliharaan dan indikator visual. Ganisen dkk (2015) juga menetapkan "*The Building Design for Maintainability Indicators*" yakni pertimbangan mengenai aksesibilitas, ketahanan, kemudahan pembersihan, ketersediaan, standarisasi, kesederhanaan & fleksibilitas, modularisasi dan identifikasi. Dunston dan Williamson (1999) dalam Saghatforoush dkk (2011) mengungkapkan dalam "*Optimal Maintainability as Design Characteristic*" yakni memerhatikan fungsi, aksesibilitas, ketahanan dan kemudahan penggantian. Konsep *maintainability* yang harus diperhatikan pada proses desain juga dikeluarkan oleh Blanchard dkk (1995) yakni modularisasi peralatan, standarisasi, kemampuan penggantian, pemasangan komponen, aksesibilitas, fitur untuk melakukan pengetesan otomatis, tingkat otomatisasi terhadap ketentuan panduan, perbaikan yang dapat dilakukan, fitur keamanan dan pelabelan.

Penelitian yang dilakukan oleh Silva (2010) menghasilkan variabel yang dapat dilakukan untuk kemudahan pemeliharaan selama tahap desain, konstruksi dan pasca konstruksi. Pada tahap desain strategi yang dapat dilakukan antar lain desain yang memperhatikan keselamatan yang memadai, desain untuk kebutuhan pemeliharaan, desain untuk lingkungan, rencana pemeliharaan yang mudah dan desain untuk efisiensi akses.

Meier dan Russell (2000) pada penelitiannya menjelaskan mengenai proses untuk mengimplementasikan *maintainability*. Pertama, melaksanakan pertemuan formal membahas tentang konsep *maintainability*. Kedua, mengaplikasikan konsep *maintainability* pada proses desain. Ketiga, mempertimbangkan *maintainability* pada saat *procurement*. Keempat, mengenali dampak konstruksi pada *maintainability*. Kelima, melakukan monitor dan evaluasi program proyek selama tahap operasional dan pemeliharaan. Keenam, melakukan maintenance training dan dokumentasi. Pada tahapan kedua yakni pengapliasian konsep *maintainability* pada fase desain, aspek desain yang maintainable dibagi menjadi dua tipe. Tipe pertama yakni desain untuk kemudahan *maintenance* dan yang kedua adalah desain untuk biaya *maintenance* yang minimum. Desain untuk kemudahan *maintenance* memperhatikan mengenai aksesibilitas, standarisasi, modularisasi, kemampuan untuk penggantian, kemampuan untuk perubahan dan kemampuan untuk pengujian.

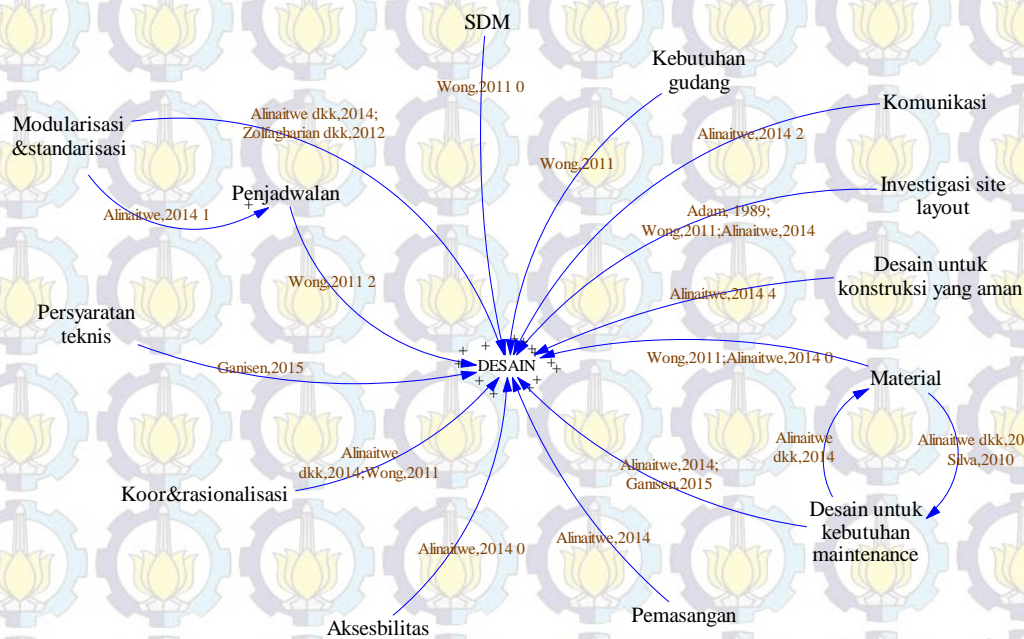
2.3. Hubungan Proses Desain, *Constructability* dan *Maintainability*

Constructability dapat diterapkan pada berbagai tahap selama siklus hidup proyek, namun pengaplikasian selama tahap awal yakni desain lebih efektif karena banyak keputusan yang dibuat selama tahap ini dan harus signifikan karena berdampak pada kinerja proyek.

Manfaat maksimal yang bisa didapatkan dalam penerapan *constructability* terjadi pada saat awal proyek yakni fase desain atau perencanaan (Fisher dan Rahman, 1999 dalam Alinaitwe dkk, 2014). Sementara itu, biaya pemeliharaan yang tinggi saat ini semakin bertambah hal ini disebabkan oleh desain yang tidak efisien (Al-Hammad dkk. 1997; Dunston dan Williamson 1999). Pekerja konstruksi yang tidak memenuhi syarat juga merupakan faktor yang menyebabkan munculnya permasalahan yang berkaitan dengan *maintainability* (Assaf dkk, 1996) dan praktek pemeliharaan yang tidak kompeten (Arditi dan Nawakorawit, 1999 a,b). Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan pemeliharaan pada tahap awal, yaitu pada tahap perencanaan dan tahap desain konstruksi. *Maintainability* harus dipertimbangkan selama proses desain dan perlu secara resmi dibahas pada tinjauan desain (Dunston dan Williamson, 1999).

Constructability dan *maintainability* adalah konsep yang dapat menyebabkan keberhasilan pada proyek. *Constructability* hanya berfokus pada kemudahan tahap konstruksi dan *maintainability* lebih fokus untuk menghilangkan kegagalan selama fase pemeliharaan (Trigunarsyah dan Skitmore, 2010 dalam Saghatforoush, 2011). Proses desain berpengaruh terhadap kemudahan pelaksanaan di lapangan sehingga desain dapat *constructable* saat dilaksanakan. Dan desain juga mempengaruhi kemudahan dalam pemeliharaan sehingga dapat proyek dapat *maintainable* saat sudah dioperasikan. Assaf (1997) mengungkapkan bahwa peningkatan biaya *maintenance* diakibatkan oleh kesalahan pada desain bangunan. Kesalahan pada saat konstruksi juga berpengaruh terhadap kerusakan bangunan. Hal tersebut menyebabkan pentingnya peran perencana dan kontraktor untuk mempertimbangkan pentingnya *maintenance* saat tahap awal perencanaan. Karena pertimbangan dan keputusan yang dibuat pada awal tahap desain dapat memudahkan pelaksanaan, mengurangi kebutuhan *maintenance* dan biaya

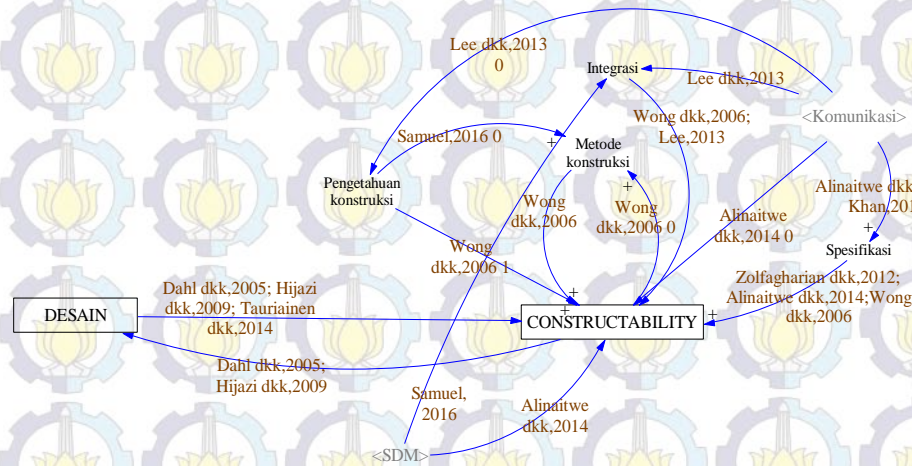
maintenance pada bangunan. Menurut Dahl dkk (2005) sistem integrasi antara *Design-Build-Operation-Maintenance* (DBOM) berusaha memasukkan pengetahuan tentang operasional dan pemeliharaan ke dalam proses desain. Melalui pengetahuan ini, keputusan yang diambil akan lebih baik dan dapat dilakukan agar menghasilkan gedung dengan *building performance* yang lebih tinggi.



Gambar 2.3 Hubungan Kausatik pada Proses Desain

Pada Gambar 3.2 merupakan hubungan kausatik pada proses desain. Penelitian yang dilakukan oleh Alinaitwe dkk (2014) menjelaskan bahwa koordinasi pada saat proses desain, mempertimbangkan aksesibilitas menuju site, memperhatikan kebutuhan maintenance pada saat mendesain, memperhatikan keamanan pada saat pelaksanaan, pemilihan material yang sesuai dan tepat dengan pertimbangan pemakaian jangka panjang, melakukan investigasi site sebelum mendesain, pertimbangan mengenai kemudahan dalam pemasangan dan pembongkaran elemen, komunikasi antar pihak yang berkepentingan dan modularisasi *layout* memiliki pengaruh terhadap keberhasilan proses desain. Pendapat tersebut juga diperkuat oleh Wong (2011). Wong (2011) juga menambahkan SDM yang baik dan berpengalaman, memperhatikan kebutuhan gudang, kedisiplinan terhadap penjadwalan pada proyek yang telah direncanakan.

Ganisen (2015) juga menambahkan bahwa penggunaan persyaratan teknis mampu meningkatkan proses desain.

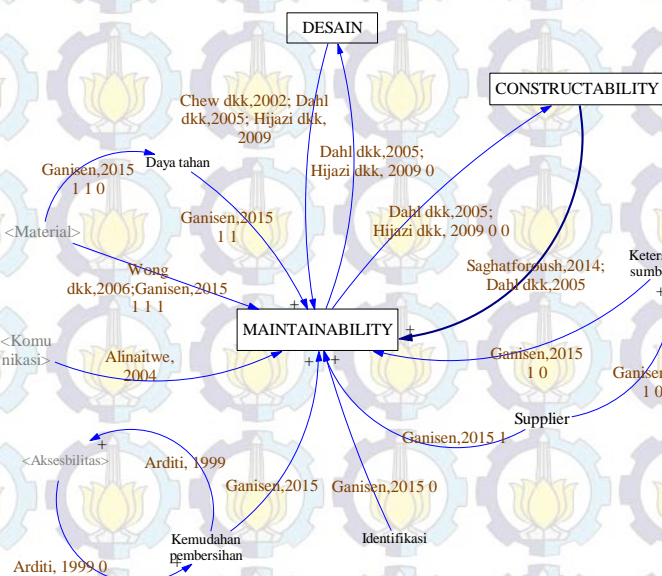


Gambar 2.4 Hubungan Kausatik pada *Constructability*

Pada Gambar 2.4 merupakan hubungan kausatik pada *constructability*. Penelitian yang dilakukan oleh Dahl (2005); Hijazi,dkk (2009) dan Tauriainen, dkk (2014) mengungkapkan bahwa proses desain mempengaruhi kemudahan pelaksanaan di lapangan. Semakin baik proses desain maka *constructability* pun akan meningkat. Wong dkk (2006) menyebutkan bahwa faktor yang mempengaruhi *constructability* adalah integrasi dari tahapan desain ke konstruksi, pengalaman dan pengetahuan tentang konstruksi, pemilihan metode konstruksi yang digunakan dan spesifikasi yang jelas pada semua elemen yang digunakan pada bangunan. Sementara faktor yang mempengaruhi proses desain yakni SDM yang baik, modularisasi layout, pemasangan dan pembongkaran yang mudah dan komunikasi yang baik antar anggota proyek yang terlibat juga merupakan faktor yang mempengaruhi *constructability* (Samuel,2016; Lee dkk,2013; Zolfagharian dkk,2012)

Gambar 2.5 merupakan hubungan kausatik pada *maintainability*. Penelitian yang dilakukan oleh Chew, dkk (2002) dan Dahl, dkk(2005) menunjukkan bahwa proses desain memiliki pengaruh terhadap *maintainability*. Sementara hubungan antara *constructability* terhadap *maintainability* dikemukakan oleh Saghatforoush (2014) dan Dahl, dkk (2005). Daya tahan bangunan,

ketersediaan sumber daya manusia dan material yang digunakan, ketepatan pemilihan supplier, identifikasi elemen bangunan yang digunakan dan kemudahan pembersihan pada saat pemeliharaan merupakan faktor yang mempengaruhi *maintainability* (Ganisen, 2015). Sementara faktor dari proses desain yang juga mempengaruhi *maintainability* adalah pemilihan material yang tepat dan persyaratan teknis yang mengikuti standar (Ganisen, 2015; Wong dkk, 2006).



Gambar 2.5 Hubungan Kausatik pada *Maintainability*

2.4. Dasar Teori Sistem Dinamik

Analisis yang dilakukan terhadap sebuah sistem yang memiliki hubungan umpan balik tidak dapat dilakukan secara parsial. Misalnya, terdapat 2 situasi yakni situasi A dan situasi B, dalam mempelajari contoh tersebut, tidak dapat dilakukan suatu analisis parsial atau terpisah misalnya hanya melihat pengaruh situasi A terhadap B, karena situasi B akan berpengaruh juga terhadap A. Kelemahan dalam melakukan analisis parsial tersebut yang membuat Sistem Dinamik unggul dalam melakukan analisis sistem yang memiliki hubungan umpan balik (*feedback loops*) atau hubungan sebab-akibat (*causal loops*).

Pada hubungan umpan balik terdapat dua jenis hubungan, umpan balik positif dan umpan balik negatif. Menurut Muhammadi dan Soesilo (2001), penentuan jenis umpan balik positif dan negatif terlebih dahulu harus ditentukan

mana yang menjadi sebab dan mana yang menjadi akibat. Selanjutnya diketahui jenis akibat yang ditimbulkan oleh sebab yaitu searah (positif) atau berlawanan arah (negatif). Akibat yang positif adalah jika satu komponen menimbulkan penambahan dalam komponen lainnya sedangkan negatif jika satu komponen mengakibatkan pengurangan dalam komponen lainnya. Proses selanjutnya adalah merangkai hubungan sebab akibat menjadi sistem tertutup sehingga menghasilkan simpal-simpal (*loops*). Untuk menentukan *loops* tersebut positif atau negatif harus dilihat apakah keseluruhan interaksi menghasilkan proses searah (tumbuh) atau berlawanan arah (penurunan). *Loops* positif ditandai dengan adanya proses yang sifatnya tumbuh, sedangkan negatif kebalikannya yaitu adanya proses penurunan. Pada intinya dalam melakukan analisis Sistem Dinamik diperlukan tahapan-tahapan untuk dapat menghasilkan sebuah model yang baik dari sistem amatan.

Model merupakan representasi dari sistem nyata, suatu model dikatakan baik bila perilaku model tersebut dapat menyerupai sistem sebenarnya dengan syarat tidak melanggar prinsip-prinsip berfikir sistem. Menurut Barlas (1996) dalam membangun suatu model sangat dipengaruhi oleh subjektivitas seseorang atau organisasi, maka perlu adanya penyempurnaan yang dilakukan secara terus-menerus dengan menggali informasi dan potensi yang relevan. Empat keuntungan penggunaan model dalam penelitian dengan menggunakan pendekatan sistem menurut Barlas (1996) yaitu: Pertama, memungkinkan melakukan penelitian yang bersifat lintas sektoral dengan ruang lingkup yang luas, Kedua, dapat melakukan eksperimentasi terhadap sistem tanpa mengganggu (memberikan perlakuan) tertentu terhadap sistem. Ketiga, mampu menentukan tujuan aktivitas pengelolaan dan perbaikan terhadap sistem yang diteliti. Dan keempat, dapat dipakai untuk menduga (meramal) perilaku dan keadaan sistem pada masa yang akan datang. Pembuatan model Sistem Dinamik umumnya dilakukan dengan menggunakan *software* yang memang dirancang khusus. *Software* tersebut seperti *Powersim*, *Vensim*, *Stella* dan *Dynamo*. Dengan *software* tersebut model dibuat secara grafis dengan simbol-simbol untuk variabel dan hubungannya, yang meliputi dua hal yaitu struktur dan perilaku.

Dalam merepresentasikan aktivitas dalam suatu lingkaran umpan-balik, digunakan dua jenis variabel yang disebut sebagai *Stock (Level)* dan *Flow (Rate)*.

Level menyatakan kondisi sistem pada setiap saat, *level* merupakan akumulasi yang terjadi di dalam sistem. *Rate* merupakan suatu struktur kebijaksanaan yang menjelaskan mengapa dan bagaimana suatu keputusan dibuat berdasarkan kepada informasi yang tersedia di dalam sistem, *rate* inilah satu-satunya variabel dalam model yang dapat mempengaruhi *level*. *Converter* adalah beberapa hal yang dapat melengkapi variabel *stock* dan *rate*, dalam memodelkan Sistem Dinamik.

Menurut Suryani (2006) karakteristik model sistem dinamik adalah : Pertama, dinamika sistemnya kompleks. Kedua, perubahan perilaku sistem terhadap waktu. Ketiga, adanya sistem umpan balik. Umpan balik ini yang menggambarkan informasi baru tentang keadaan sistem yang kemudian akan menghasilkan keputusan selanjutnya, artinya dapat digunakan sebagai sarana untuk melakukan perbaikan akan masalah yang disimulasikan pada sistem tersebut.

Menurut Forrester dan Senge (1980) pemodelan menggunakan pendekatan sistem dinamik (SD) harus dilakukan pengujian. Terdapat dua acara untuk menguji SD yaitu melalui verifikasi model dan validasi model. Menurut Rakitin (2001) dalam Mclucas (2005) verifikasi didefinisikan sebagai sebuah proses yang menentukan apakah produk atau tahapan tertentu di dalam siklus pengembangan model SD memenuhi persyaratan yang diperlukan selama fase sebelumnya. Terdapat beberapa jenis dalam melakukan verifikasi model yakni *logical test*, *extreme value* dan *mass balance tests*.

1. *Logical tests*, digunakan untuk menjamin verifikasi parametrik, integritas dimensi, unit konsistensi, urutan perhitungan yang benar dan karakter statistik.
2. *Extreme value test*, digunakan untuk menjamin stabilitas di bawah paparan kondisi ekstrim dan kebijakan yang ekstrim.
3. *Mass balanced tests*, digunakan untuk memastikan bahwa *physical flows* tidak melanggar persyaratan dasar untuk *physical flows* menjadi model, baik secara akumulasi atau mengalir keluar.

Menurut Rodrigues dan Williams (1998) dalam Chinda (2007) tujuan utama dari validasi model adalah untuk memastikan bahwa model menangkap dinamika umum dari perilaku sistem, sehingga dapat menghasilkan hasil yang sedekat mungkin dengan kejadian sebenarnya. Model dapat dikatakan valid jika hasil simulasi menghasilkan pattern tingkah laku yang sama jika dibandingkan

dengan sistem nyata. Menurut Forrester dan Senge (1980) terdapat tiga fokus aktivitas pada validasi model yaitu *model structure*, *model behavior* dan *policy implications*. Penjelasan mengenai proses validasi model terdapat pada Tabel 2.1 , Tabel 2.2 dan Tabel 2.3

Tabel 2.1 *Model Structure Tests*

No	Jenis Uji	Penjelasan
1	Structure Verification	Membandingkan struktur model secara langsung dengan struktur sistem yang diwakili oleh model
2	Parameter Verification	Mengetahui konsistensi dari variabel yang menjadi input dalam model. Uji parameter dilakukan dengan validasi logika hubungan antar variabel dalam model
3	Extreme Condition Test	Memperbaiki model dengan memeriksa efek dari uji kondisi ekstrim
4	Boundary Adequacy	Menilai apakah agregasi model sesuai dan model mencakup semua struktur yang relevan
5	Dimentional Consistency	Menggunakan analisis dimensi untuk memvalidasi persamaan tingkat pada model

Sumber: Forrester dan Senge , 1980

Tabel 2.2 *Model Behaviour Test*

No	Jenis Uji	Penjelasan
1	Behavior Reproduction	Berfokus untuk meniru historical behavior
2	Behavior Prediction	Berfokus pada perilaku masa depan
3	Behavior Anomaly Tests	Melacak anomali perilaku ke struktur model elemen yang bertanggung jawab atas perilaku
4	Family Member Test	Menyoroti perilaku dalam sistem nyata yang belum pernah dikenali sebelumnya
5	Extreme Policy	Melibatkan perubahan pernyataan kebijakan secara ekstrim dan menjalankan model untuk menentukan konsekuensi secara dinamis
6	Boundary Adequacy	Mempertimbangkan apakah sebuah model mencakup struktur yang diperlukan untuk mengatasi masalah yang dirancangnya
7	Behavior Sensitivity	Berfokus pada sensitivitas perilaku model untuk mengubah nilai parameter. Apakah perubahan yang terjadi masuk akal atau tidak.

Sumber: Sumber: Forrester dan Senge , 1980

Tabel 2.3 *Policy Implication Test*

No	Jenis Uji	Penjelasan
1	System Improvement	Mempertimbangkan apakah kebijakan jika diimplementasikan dapat memperbaiki perilaku sistem nyata
2	Change Behaviour Prediction	Menanyakan apakah model memprediksi bagaimana perilaku sistem jika kebijakan pemerintah diubah
3	Boundary Adequacy	Memeriksa apakah memodifikasi model akan mengubah rekomendasi kebijakan yang diperoleh dengan menggunakan model
4	Policy Sensitivity	Menunjukkan sejauh mana rekomendasi kebijakan dapat dipengaruhi oleh ketidakpastian nilai parameter

Sumber: Sumber: Forrester dan Senge , 1980

2.5. Identifikasi Variabel Penelitian

Berdasarkan penelitian terdahulu maka diperoleh identifikasi variabel desain yang mempengaruhi *constructability* dan *maintainability*. Variabel tersebut terbagi menjadi tiga kelompok utama yaitu variabel desain, variabel *constructability* dan variabel *maintainability*. Masing-masing variabel dibentuk oleh beberapa sub variabel. Tabel 2.4 memperlihatkan variabel dan sub variabel yang diperoleh berdasarkan studi literatur.

Variabel yang digunakan pada penelitian ini bersifat general atau umum Sehingga masing-masing variabel dapat diterapkan pada masing-masing elemen di proyek konstruksi seperti elemen struktural, arsitektural atau mekanikal/elektrikal. Misalkan pada Tabel 2.4 nomor 4. Variabel tersebut dapat diterapkan pada proyek konstruksi pada elemen struktural, arsitektural atau mekanikal/elektrikal. Hal yang difokuskan pada penelitian ini adalah jika variabel pada Tabel 2.4 terdapat variabel yang secara bersama dapat memberi pengaruh dengan meningkatkan *constructability* dan juga meningkatkan *maintainability* sekaligus, maka variabel tersebut dapat menjadi faktor yang dominan dalam peningkatan *constructability* dan *maintainability* pada proyek konstruksi.

Tabel 2.4 Variabel Penelitian Berdasarkan Studi Literatur

NO	VARIABEL	SUB VARIABEL	DEFINISI
1	Proses Desain	Investigasi site layout (Alinaitwe dkk,2014)	Pelaksanaan investigasi site dengan teliti ((seperti:letak lubang pengeboran, survei topografi, cable detection, survei batasan bangunan)
2		Penjadwalan (Alinaitwe dkk,2014)	Mengikuti urutan penjadwalan pada proyek dengan perubahan gambar sewaktu-waktu di lapangan tanpa banyak rework
3		Pemasangan (Alinaitwe dkk, 2014, Wong dkk, 2006)	Mempertimbangkan kemudahan penyambungan&pemasangan antar komponen pada bangunan
4		Modularisasi & standarisasi (Alinaitwe dkk, 2014, Wong dkk, 2006)	Menggunakan bentukan bangunan yang sederhana dengan layout yang modular dan menggunakan standarisasi yang tinggi
5		Persyaratan teknis (Alinaitwe dkk, 2014)	Penentuan toleransi untuk item pekerjaan sebanyak mungkin serta menggunakan rincian blow-up untuk memeriksa kesalahan dalam desain
6		Material (Alinaitwe dkk, 2014, Wong dkk, 2006)	Menggunakan material lokal yang ketersediaannya terjamin, kuat, sesuai, mudah perawatan serta mempertimbangkan supply material jika menggunakan material impor
7		Aksesibilitas (Alinaitwe dkk, 2014)	Mempertimbangkan efisiensi menuju site layout dan storage
8		Kebutuhan gudang (Alinaitwe dkk, 2014)	Mempertimbangkan perlunya kebutuhan gudang
		Sumber daya manusia (Alinaitwe dkk, 2014)	Ketersediaan tenaga kerja terampil dan berpengalaman di lapangan
10		Koordinasi&rasionalisasi	Melakukan koordinasi gambar dan spesifikasi serta melakukan update spesifikasi untuk menghilangkan kesalahpahaman dan ambiguitas pada gambar

NO	VARIABEL	SUB VARIABEL	DEFINISI
11	Proses Desain	(Alinaitwe dkk, 2014, Wong dkk, 2006) Desain yang memerhatikan kebutuhan maintenance (Alinaitwe dkk, 2014)	Desain yang memperhatikan kemudahan perawatan pada saat bangunan telah beroperasi
12		Desain untuk konstruksi yang aman (Alinaitwe dkk, 2014)	Mengikuti rangkaian tahapan untuk keamanan saat konstruksi (seperti: menaikkan heavy mechanical dan electrical plant) dan memerhatikan ukuran dan berat material yang aman untuk ditangani pekerja.
13		Komunikasi (Alinaitwe dkk, 2014)	Keterlibatan kontraktor dalam proses desain dan penyusunan strategi untuk mengurangi kurangnya rasa saling percaya antar anggota.
14	Constructability	Integrasi (Francis dkk, 1996)	Mengintegrasikan dari tahapan desain ke tahapan pelaksanaan
15		Pengetahuan & pengalaman (Francis dkk, 1996)	Mengoptimalkan integrasi pengetahuan dan pengalaman mengenai konstruksi
16		Metode konstruksi (Francis dkk, 1996)	Ketepatan pemilihan metode konstruksi yang digunakan
17		Spesifikasi (Francis dkk, 1996)	Spesifikasi bangunan yang digunakan sesuai dengan standar yang disyaratkan
18	Maintainability	Daya tahan (Ganishen, 2015; Moua dan Jeffrey, 2001)	Daya tahan/kekuatan material yang digunakan
19		Kemudahan pembersihan (Ganishen, 2015; Moua dan Jeffrey, 2001)	Kemudahan pembersihan bangunan untuk pemeliharaan
20		Ketersediaan (Ganishen, 2015)	Ketersediaan material, peralatan yang digunakan di masa akan datang untuk jangka panjang

NO	VARIABEL	SUB VARIABEL	DEFINISI
21	<i>Maintainability</i>	Fleksibilitas (Ganishen,2015; Chen dan Cai, 2003)	Desain yang fleksibel untuk dipertukarkan dan diganti pemasangannya untuk memudahkan dalam pemeliharaan
22		Identifikasi (Ganishen,2015)	Identifikasi elemen bangunan yang digunakan untuk memudahkan apabila dibutuhkan perbaikan/penggantian
23		Supplier (Saghatforoush, 2011)	Memilih supplier yang terpercaya dan berkualitas baik dengan pertimbangan ketersediaan jangka panjang

2.6. Posisi Penelitian

Posisi penelitian berfungsi untuk menjelaskan perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah bahwa di penelitian sebelumnya hanya membahas mengenai proses desain dengan *constructability*. Terdapat juga penelitian yang hanya membahas mengenai proses desain dengan *maintainability*. Serta terdapat juga penelitian yang membahas mengenai *constructability* dan *maintainability*. Ketiganya dibahas secara terpisah. Namun pada kenyataannya ketiga hal tersebut saling berkorelasi satu sama lain. Maka pada penelitian ini berusaha menganalisa besarnya pengaruh hubungan antara proses desain terhadap *constructability* dan *maintainability* menggunakan sistem dinamik. Penggunaan metode sistem dinamik bertujuan untuk merepresentasikan besarnya hubungan antar faktor.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Konsep dan Model Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian kausatik, yakni penelitian yang menggunakan berbagai sumber yang dianggap relevan atau penting untuk melihat hubungan kausal antar variabel. Penelitian kausatik bertujuan menyelidiki kemungkinan hubungan sebab-akibat. Pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan faktor desain yang mempengaruhi *constructability* dan *maintainability* serta mengembangkan model yang digunakan untuk memprediksi besarnya pengaruh hubungan antar faktor tersebut terhadap peningkatan *constructability* dan *maintainability* pada proyek bangunan gedung.

3.2. Rancangan Kuisisioner

Data yang digunakan dalam penelitian berupa data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari hasil survey berbentuk kuisisioner. Sedangkan data sekunder diperoleh dari studi literatur. Studi literatur dilakukan dengan melakukan review terhadap jurnal-jurnal yang berhubungan dengan proses desain terhadap *constructability* dan *maintainability*. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan variabel-variabel apa saja yang berpengaruh terhadap penelitian, serta untuk melihat hubungan antar variabel tersebut. Selanjutnya variabel tersebut yang akan digunakan untuk membuat model awal atau model sementara tentang proses desain yang mempengaruhi *constructability* dan *maintainability* pada proyek konstruksi. Kuisisioner dilakukan dengan menggunakan variabel penelitian yang didapatkan dari studi literatur yang diubah ke dalam bentuk kuisisioner untuk dapat melengkapi model awal penelitian. Kuisisioner dalam penelitian ini terdiri dari dua bagian.

Bagian pertama pada kuisisioner ini bertujuan untuk memverifikasi variabel penelitian yang didapatkan dari studi literatur. Responden pada bagian pertama ini diminta untuk memberikan persetujuan terhadap variabel yang digunakan dalam penelitian dengan menggunakan skala numerik (*numerical scale*) yaitu skala likert

1 – 5. Penilaian persepsi sangat setuju diberikan bobot 5, setuju diberikan bobot 4, cukup setuju diberikan bobot 3, kurang tidak setuju diberikan bobot 2 dan sangat tidak setuju diberikan bobot 1. Berikut rumus persamaan yang digunakan untuk mengubah data kualitatif dari skala likert menjadi data kuantitatif

$$\text{Skoring} = T \times P_n \quad (3.1)$$

$$\text{Rumus interval} = 100/\text{Jumlah skor (likert)} \quad (3.2)$$

$$\text{Rumus index \%} = \text{Total skor} / Y \times 100\% \quad (3.3)$$

dengan:

T = Total jumlah responden yang memilih

P_n = Pilihan angka skor likert

Y = Skor tertinggi likert x jumlah responden

X = Skor terendah x jumlah responden

Pada penelitian ini terdapat lima skor likert. Maka hasil interval jaraknya adalah 20. Interval terendah 0% hingga tertinggi 100%. Kriteria interpretasi skor berdasarkan intervalnya adalah sebagai berikut. Angka 0%-19,99% menginterpretasikan sangat tidak setuju. Angka 20%-39,99% menginterpretasikan tidak setuju. Angka 40%-59,99% menginterpretasikan cukup/netral. Angka 60-79,99% menginterpretasikan setuju. Angka 80% 0 100% menginterpretasikan sangat setuju. Jika nilai dari variabel diatas 50% maka variabel tersebut digunakan pada penelitian.

Tabel 3.1 Skala Pengukuran Kuisioner Bagian Pertama

5	4	3	2	1
Sangat setuju	Setuju	Cukup setuju	Kurang Setuju	Sangat Tidak Setuju

Bagian kedua dalam kuisioner ini bertujuan untuk menilai hubungan antar variabel yang didapatkan dari studi literatur. Responden pada bagian kedua ini diminta untuk memberikan penilaian terhadap besarnya pengaruh hubungan antar variabel. Sama halnya dengan bagian pertama. Pada bagian kedua Responden pada bagian pertama ini diminta untuk memberikan persetujuan terhadap variabel yang digunakan dalam penelitian dengan menggunakan skala numerik (*numerical scale*)

yaitu skala likert 1 – 5. Penilaian persepsi sangat berpengaruh diberikan bobot 5, berpengaruh diberikan bobot 4, cukup berpengaruh diberikan bobot 3, kurang berpengaruh diberikan bobot 2 dan sangat tidak berpengaruh diberikan bobot 1. Pengolahan kuisioner bagian kedua ini menggunakan teknik pembobotan.

Tabel 3.2 Skala Pengukuran Kuisioner Bagian Kedua

5	4	3	2	1
Sangat Berpengaruh	Berpengaruh	Cukup Berpengaruh	Kurang Berpengaruh	Sangat Tidak Berpengaruh

3.3. Penyebaran Kuisioner

Pada penyebaran kuisioner ditentukan populasi dan sampel penelitian. Populasi yang akan diteliti pada penelitian ini adalah kepala perencanaan atau tenaga ahli perencanaan pada konsultan perencana yang tergabung dalam INKINDO Surabaya yang pernah merencanakan pembangunan gedung. Konsultan perencana dipilih menjadi responden pada penelitian ini karena konsultan perencana juga terlibat dalam pengawasan, rapat koordinasi pelaksanaan pada proyek dan melakukan pengontrolan di lapangan. Maka dapat disimpulkan pihak konsultan perencana mengetahui dan memahami mengenai penerapan konsep *constructability* di lapangan pada saat pelaksanaan. Pada tahapan perencanaan sebuah proyek owner juga terlibat dari awal. Wakil dari owner pada rapat untuk merencanakan sebuah proyek mengetahui dan memahami faktor apa saja yang berpengaruh dan dapat meningkatkan *maintainability*. Pihak dari konsultan perencana pada saat penyusunan desain akan selalu mengkomunikasikan keseluruhan yang terjadi pada proyek kepada owner. Maka dapat disimpulkan pihak dari konsultan perencana memahami faktor apa saja yang harus dilakukan untuk dapat meningkatkan *maintainability*.

Setelah diketahui populasi kemudian dilakukan pengambilan sampel. Sampel yang digunakan harus benar-benar mewakili populasi penelitian. Sampling merupakan teknik yang digunakan untuk menetapkan sampel. Pada penelitian ini menggunakan *Random Sampling* (teknik sampling acak). Sampel pada penelitian adalah orang-orang yang memahami proses perancangan atau desain pada proyek bangunan gedung sehingga desain yang dihasilkan dapat *constructable* dan

maintainable. Teknik pengambilan sampel pada masing-masing konsultan perencana diambil sampel 1-4 orang. Berikut merupakan daftar konsultan perencana yang tergabung dalam INKINDO Surabaya yang akan diambil datanya.

Tabel 3.3 Daftar Sampel Penelitian

No	Nama Perusahaan	Alamat
1	PT. Parigraha Konsultan	Komplek Manyar Mega Indah B-9
2	PT. Surya Cahaya Utama	Jl.Ngagel Jaya Selatan 5/9
3	CV. Cipta Suramadu Consultant	Jl. Keputih Tegal Timur III-B No.19 Kel.Keputih Sukolilo
4	PT. Indocode Surya	Jl. Ngagel Madya 8/23
5	PT. Dimensi Arsitektur Indonesia	Jl. Jemursari Selatan V 2-4
6	PT. Candi Kencana Sabdawisesa	Jl. Kalirungkut 1-3 Blok N-50
7	PT. Arya Duta Engineering	Perum YKP Medayu Pesona
8	PT. Handal Natsa Kedhaton	Jl.Medayu Selatan XIX/20
9	PT. Inti Transurya	Rungkut YKP Blok RL II-L/13
10	PT. Mitra Cipta Engineering	Jl. Pandugo Baru XI Blok Z/8
11	CV. Azita Abadi	Perum Rungkut YKP Pandugo I Blok PK-12 RT. 002 RW. 008 Kel. Penjaringan Sari Kec. Rungkut
12	PT. Isoplan	Jl.Jemur Andayani XVIII-30
13	PT.Adicipta Engineering	Jl. Rungkut Asri Barat
14	PT. Adibanuwa Konsulindo	Ruko Panji Makmur blok C-11
15	PT.Pramanthana	Jl. Rungkut Lor RL-21/27

3.4. Uji Normalitas dan Reliabilitas

Tahapan awal yang dilakukan sebelum pengolahan data adalah *screening* terhadap data yang akan diolah. Salah satu cara yang dapat digunakan adalah asumsi *multivariate normality*. Menurut Ghazali (2011) *multivariate normality* merupakan asumsi bahwa setiap variabel dan semua kombinasi linier dari variabel terdistribusi secara normal. Terdapat dua komponen normalitas yaitu skewness dan kurtosis. Skewness berkaitan dengan simetri distribusi. Sedangkan *skewed variable* adalah variabel yang memiliki nilai mean tidak di tengah-tengah distribusi. Kurtosis berhubungan dengan puncak suatu distribusi. Jika variabel terdistribusi secara normal maka nilai kurtosis dan skewness sama dengan nol. Morgan dan Griego (1998) dalam (Chinda, 2007) menyatakan secara umum apabila nilai skewness <2.0 dan kurtosis <7.0 maka data masih dapat diterima.

Reliabilitas menunjukkan suatu instrumen cukup dapat dipercaya untuk digunakan sebagai alat pengumpul data. Reliabilitas merupakan ukuran yang menunjukkan konsistensi dari alat ukur dalam mengukur gejala yang sama di lain kesempatan, artinya ukuran yang menunjukkan kestabilan dalam mengukur yang berarti kuesioner tersebut konsisten jika digunakan untuk mengukur konsep atau konstruk dari suatu kondisi ke kondisi yang lain. Metode Cronbach Alpha, dimana suatu kuesioner dikatakan reliabel jika nilai Cronbach Alpha lebih besar dari 0,60 (Purbayu, 2005). Pallant (2005) dalam Chinda (2007) menambahkan secara umum nilai reliabilitas kurang dari 0,6 adalah kurang baik, nilai 0,7 dapat diterima dan nilai di atas 0,8 adalah baik.

3.5. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan berdasarkan tahapan-tahapan yang disesuaikan dengan tujuan penelitian. Tahapan penelitian dimulai dari identifikasi masalah, pembuatan rumusan masalah dan tujuan penelitian. Kemudian dilanjutkan dengan studi literatur mengenai hal yang berkaitan dengan penelitian yakni tentang desain, *constructability* dan *maintainability*. Selanjutnya dilakukan tahapan pra survey pada konsultan perencanaan dengan sampel kepala perencanaan yang bertujuan untuk memverifikasi variabel. Kemudian dilanjutkan dengan perancangan kuisisioner dan penyebaran kuisisioner. Setelah tahapan tersebut dilakukan uji normalitas dan reliabilitas. Apabila tidak valid maka kembali ke tahapan rancangan kuisisioner. Jika valid maka dilanjutkan dengan tahapan analisis data menggunakan sistem dinamik. Tahapan pada pemodelan sistem dinamik dapat dilihat pada Gambar 3.2. Selanjutnya diskusi dan pembahasan dan pengambilan kesimpulan dan saran. Tahapan penelitian dari awal sampai akhir terdapat pada Gambar 3.1.

3.6. Pengolahan dan Analisa Data Sistem Dinamik

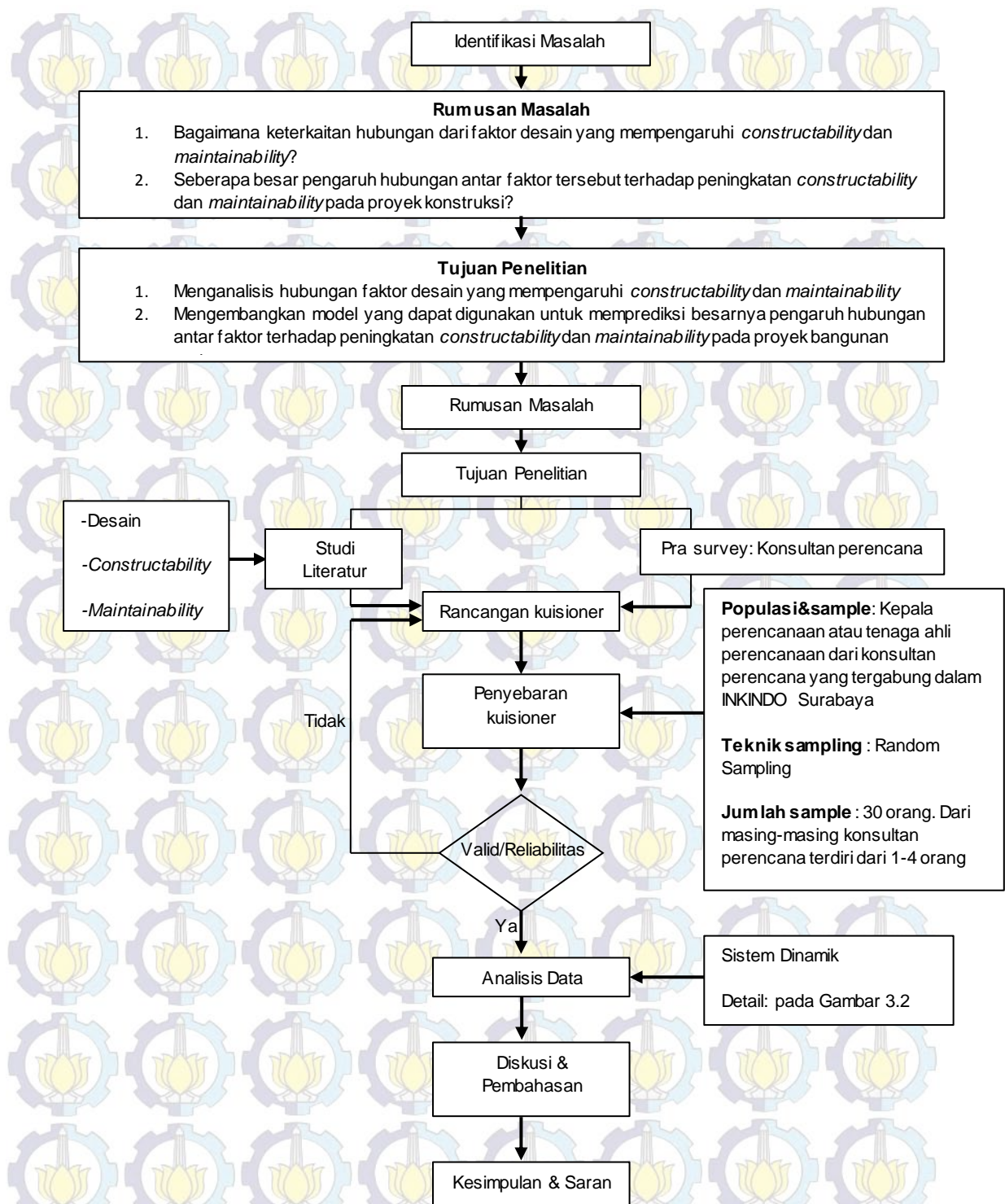
3.6.1. Konsep Pemodelan Sistem Dinamik

Proses analisa suatu sistem membutuhkan metode yang dapat digunakan untuk menganalisa komponen yang ada dalam sistem tersebut. Sistem dinamik merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk melakukan hal tersebut. Sistem dinamik didefinisikan sebagai kumpulan entitas yang berinteraksi satu sama lain untuk mencapai tujuan tertentu. Metode sistem dinamik yang dikembangkan

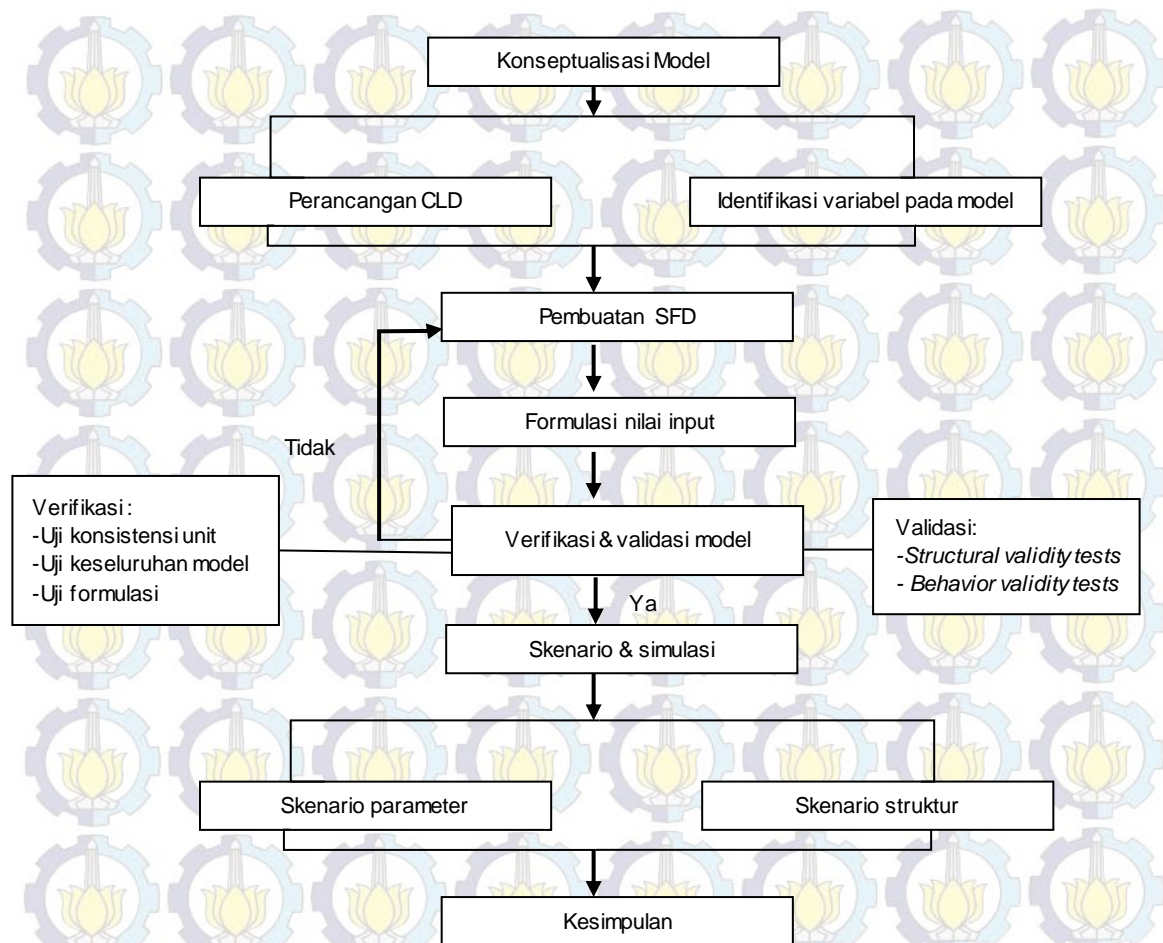
oleh Forrester (1961) memiliki karakteristik utama yakni dapat memecahkan masalah yang kompleks dan mampu menganalisa perubahan perilaku sistem dari waktu ke waktu (Suryani, 2010). Cara yang dapat dilakukan untuk dapat mencapai tujuan tersebut yakni masing-masing entitas memiliki fungsi individu yang membentuk pola interaksi, dimana pola tersebut akan menentukan struktur dan batasan dari sistem (Schmid dan Taylor, 1970 dalam Suryani, 2006). Pemodelan menggunakan sistem dinamik merupakan proses analisis yang dilakukan terhadap sebuah sistem yang memiliki hubungan umpan balik tidak dapat dilakukan secara parsial. Proses verifikasi dan validasi model dilakukan dengan tujuan untuk melihat apakah model yang dibuat *error* atau tidak dan sudah mempresentasikan kondisi di lapangan. Urutan pada pemodelan sistem dinamik digambarkan pada Gambar 3.2.

3.6.2. Konseptualisasi Model

Konseptualisasi desain dilakukan dengan membuat diagram CLD untuk menunjukkan hubungan sebab akibat dan keterkaitan antar variabel sehingga mampu merepresentasikan sistem yang diidentifikasi. Proses perancangan CLD merupakan langkah penting pada penggunaan sistem dinamik. Hal tersebut dikarenakan pada langkah ini dapat mempengaruhi hasil secara signifikan suatu permodelan sistem dinamik. CLD akan menjelaskan cara bekerja sistem yang dibuat. CLD akan memperlihatkan bagaimana hubungan antar variabel-variabel tersebut bekerja membentuk sebuah sistem yang dapat menggambarkan hubungan antara variabel-variabel desain yang mempengaruhi *constructability* dan *maintainability*. Hubungan kausatik antar variabel yang terdapat pada CLD awal/ sementara didapatkan dari studi literatur yang telah dilakukan. Terdapat tiga variabel utama yang digunakan dalam CLD awal/ sementara yakni desain, *constructability* dan *maintainability*. Dimana pada variabel desain terdapat faktor pembentuk yang mempengaruhi variabel desain sebanyak 13 faktor antara lain investigasi site layout, penjadwalan, perakitan yang sederhana, modularisasi dan standarisasi, persyaratan teknis, material yang sesuai, aksesibilitas, pertimbangan kebutuhan gudang, tenaga kerja, desain yang rasional, desain untuk kebutuhan *maintenance*, desain untuk konstruksi yang aman dan komunikasi yang baik



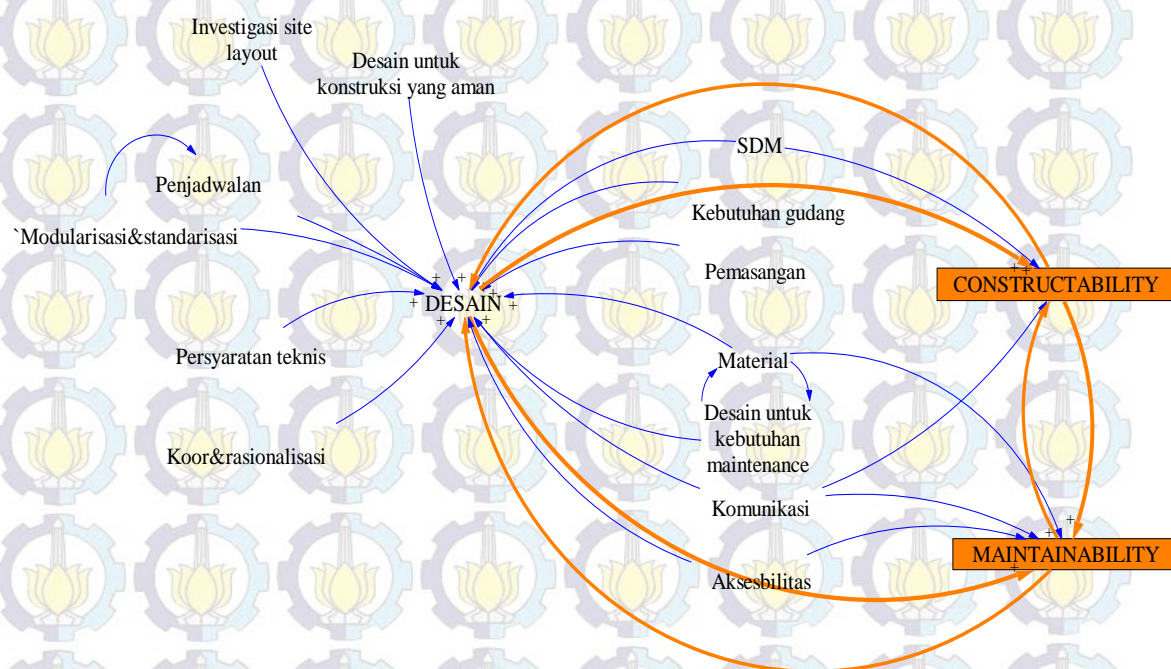
Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Pemodelan Sistem Dinamik

Terdapat dua faktor dari variabel desain yang mempengaruhi *constructability* yakni sumber daya manusia dan komunikasi. Serta terdapat tiga faktor dari variabel desain yang mempengaruhi *maintainability* yakni material, aksesibilitas dan komunikasi. Berdasarkan Gambar 3.3 proses desain mempengaruhi *constructability* dan *maintainability*. *Constructability* juga memiliki pengaruh terhadap *maintainability*. Terdapat hubungan saling mempengaruhi diantara ketiganya. Sehingga *constructability* mempengaruhi proses desain. Begitu halnya dengan *maintainability* yang mempengaruhi *constructability* dan proses desain. Pada CLD awal di Gambar 3.3 hanya menampilkan mengenai hubungan dari faktor-faktor yang mempengaruhi proses desain terhadap proses desain, *constructability* dan *maintainability*. Sedangkan untuk hubungan kausatik dan faktor pembentuk *constructability* dan *maintainability* digunakan sebagai skenario

pemodelan untuk menentukan kebijakan apa yang harus dilakukan dalam penelitian ini yang menggunakan metode sistem dinamik. Hubungan kausatik antar variabel pembentuk *constructability* dan *maintainability* pada proses desain secara keseluruhan terdapat pada Tabel 3.3.



Gambar 3.3 CLD Awal/ Sementara

Tabel 3.4 Hubungan Kausatik

No	Sebab	Akibat	Sumber
1	Desain	<i>Constructability</i>	Dahl dkk,2005; Hijazi dkk,2009; Tauriainen dkk,2014
2	Desain	<i>Maintainability</i>	Dahl dkk,2005; Chew dkk,2002
3	<i>Constructability</i>	<i>Maintainability</i>	Dahl dkk,2005; Saghatforoush,2014
4	<i>Constructability</i>	Desain	Dahl dkk,2005; Hijazi dkk,2009
5	<i>Maintainability</i>	Desain	Dahl dkk,2005; Hijazi dkk,2009
6	<i>Maintainability</i>	<i>Constructability</i>	Dahl dkk,2005; Hijazi dkk,2009
5	Aksesibilitas	Desain	Alinaitwe dkk, 2014

No	Sebab	Akibat	Sumber
7	Pemasangan	Desain	Alinaitwe dkk, 2014
9	Material yang sesuai	Desain untuk kebutuhan <i>maintenance</i>	Alinaitwe dkk, 2014; Silva, 2010
10	Desain untuk kebutuhan <i>maintenance</i>	Material yang sesuai	Alinaitwe dkk, 2014
11	Modularisasi&standarisasi	Desain	Alinaitwe dkk, 2014; Zolfagharian dkk, 2012
14	Material yang sesuai	Desain	Alinaitwe dkk, 2014; Wong, 2011
16	Koordinasi & rasionalisasi	Desain	Alinaitwe dkk, 2014
18	Sumber Daya Manusia	<i>Constructability</i>	Alinaitwe dkk, 2014
20	Penjadwalan	Desain	Wong, 2011
21	Investigasi site layout	Desain	Adam, 1989; Wong, 2011; Alinaitwe, 2014
23	Sumber daya manusia	Desain	Wong, 2011
24	Kebutuhan gudang	Desain	Wong, 2011
26	Modularisasi&standarisasi	Penjadwalan	Alinaitwe dkk, 2014; Zolfagharian dkk, 2012
32	Komunikasi yang baik	Desain	Alinaitwe dkk, 2014
35	Material yang sesuai	<i>Maintainability</i>	Wong dkk, 2006; Ganisen, 2015
36	Aksesibilitas	<i>Maintainability</i>	Mouau, 2001; Arditi 1999
39	Desain untuk kebutuhan <i>maintenance</i>	Desain	Alinaitwe dkk, 2014; Ganisen, 2015
42	Persyaratan teknis	<i>Desain</i>	Ganisen, 2015

3.6.3. Model Persamaan Struktural

3.6.3.1. Normalisasi Pembobotan

Nilai untuk masing-masing sub variabel pada variabel proses desain, *constructability* dan *maintainability* diperoleh melalui pembobotan dari nilai total hasil kuisioner penelitian yang telah dilakukan terdapat pada lampiran. Proses yang dilakukan yakni dengan cara mengkonversi data kualitatif menjadi data kuantitatif, yaitu dengan membobotkan masing-masing sub variabel terhadap variabelnya dengan bobot total sama dengan satu. Tabel mengenai persamaan pembobotan terdapat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Persamaan Pembobotan

No	Variabel	Sub Variabel	Score
1	Desain	Investigasi site layout	Nilai total dari kuisisioner penelitian skala (1-5) dilakukan normalisasi pembobotan
2		Penjadwalan	
3		Pemasangan	
4		Modularisasi & standarisasi	
5		Persyaratan teknis	
6		Material	
7		Aksesibilitas	
8		Kebutuhan gudang	
9		Sumber daya manusia	
10		Koordinasi & rasionalisasi	
11		Desain yang memerhatikan kebutuhan maintenance	
12		Desain untuk konstruksi yang aman	
13		Komunikasi	

Tabel 3.6 Contoh Kuisisioner

No	Variabel	Sub variabel	Pertanyaan	Skor				
				1	2	3	4	5
1	Desain	Investigasi site layout	Seberapa besar tingkat pengaruh perencanaan investigasi site sebelum mendesain dengan teliti (seperti: letak lubang pengeboran, survei topografi, cable detection, survei batasan bangunan) terhadap desain?					
		Penjadwalan	Seberapa besar tingkat pengaruh tingkat ketertiban mengikuti jadwal pada proyek dengan perubahan gambar sewaktu-waktu di lapangan tanpa banyak rework terhadap desain?					
		Pemasangan	Seberapa besar tingkat pengaruh mempertimbangkan kemudahan penyambungan & pemasangan antar komponen pada bangunan terhadap desain?					

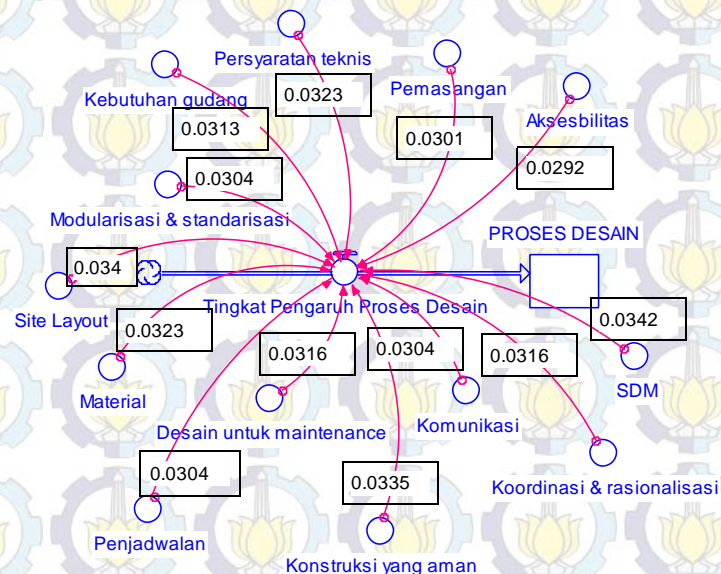
No	Variabel	Sub variabel	Pertanyaan	1	2	3	4	5
		Persyaratan teknis	Seberapa besar pengaruh tingkat penentuan toleransi untuk item pekerjaan sebanyak mungkin serta menggunakan rincian blow-up untuk memeriksa kesalahan dalam desain terhadap desain?					
		Material	Seberapa besar pengaruh tingkat penggunaan material lokal yang ketersediaannya terjamin, kuat, sesuai, mudah dalam perawatan serta supply material jika menggunakan material impor terhadap desain?					
		Aksesibilitas	Seberapa besar pengaruh tingkat pertimbangan efisiensi menuju site layout dan storage terhadap desain?					
		Kebutuhan gudang	Seberapa besar pengaruh tingkat pertimbangan pentingnya kebutuhan gudang terhadap desain?					
		Sumber daya manusia	Seberapa besar pengaruh tingkat ketersediaan tenaga kerja yang terampil dan berpengalaman di lapangan terhadap desain?					
		Koordinasi&rasionalisasi	Seberapa besar pengaruh tingkat koordinasi gambar dan spesifikasi serta melakukan update spesifikasi untuk menghilangkan kesalahpahaman dan ambiguitas pada gambar terhadap desain?					
		Desain yang memerhatikan kebutuhan maintenance	Seberapa besar pengaruh Desain yang memerhatikan kemudahan perawatan pada saat bangunan telah beroperasi terhadap desain?					
		Desain untuk konstruksi yang aman	Seberapa besar pengaruh tingkat ketertiban mengikuti rangkaian tahapan untuk keamanan saat konstruksi (seperti: menaikkan heavy mechanical dan electrical plant) dan memerhatikan ukuran dan berat material yang aman untuk ditangani pekerja terhadap desain?					

No	Variabel	Sub variabel	Pertanyaan	1	2	3	4	5
		Komunikasi	Seberapa besar pengaruh tingkat keterlibatan kontraktor dalam proses desain dan penyusunan strategi untuk mengurangi kurangnya rasa saling percaya antar anggota terhadap desain?					

Contoh Perhitungan:

Berdasarkan Tabel 3.4 pada variabel desain terdiri dari 13 subvariabel. Masing sub variabel terdapat pertanyaan untuk menanyakan hubungan antara sub variabel tersebut terhadap proses desain. Misalnya, jika nilai total kuisisioner dari subvariabel penjadwalan yang merupakan variabel dari desain adalah 128. Maka melalui pembobotan dengan mengkonversi data kualitatif menjadi kuantitatif. Hal tersebut dilakukan dengan membagi skor total dari subvariabel dengan jumlah total dari subvariabel dari variabel desain tersebut. Contoh perhitungan untuk mengetahui bobot dari ketertiban penjadwalan adalah sebagai berikut $128/1734 = 0,07$. Jumlah total dari subvariabel pada masing-masing variabel adalah satu.

Ilustrasi:



Gambar 3.4 Contoh Pembobotan Pada Variabel Desain

Gambar 3.4 merupakan contoh pembobotan pada variabel desain. Teknik pembobotan merupakan teknik yang digunakan untuk mengubah data kualitatif

menjadi kuantitatif. Tabel pembobotan keseluruhan variabel yang digunakan dapat dilihat di Lampiran 3.

3.6.3.2. Regresi Linier Berganda

Analisis linier berganda digunakan untuk memprediksi berubahnya nilai variabel tertentu apabila variabel lain berubah. Jumlah variabel bebas (independen) sebagai prediktor pada regresi linier berganda berjumlah lebih dari satu. Pada penelitian ini variabel proses desain merupakan variabel tidak bebas. Sedangkan variabel bebasnya adalah faktor-faktor yang mempengaruhi variabel proses desain.

Rumus regresi linier berganda adalah sebagai berikut:

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \dots + \alpha_k x_k \dots \dots \dots (3.4)$$

Dimana:

Y = Variabel tidak bebas (dependen)

$\alpha_0, \dots, \alpha_k$ = Koefisien regresi

x_1, \dots, x_k = Variabel bebas (independen)

Pada penelitian ini nilai koefisien regresi didapatkan dari nilai hasil normalisasi pembobotan. Tujuan dari analisis linier berganda adalah untuk mengukur intensitas hubungan antara dua variabel atau lebih dan memuat prediksi/ perkiraan nilai Y dan nilai X . Bentuk umum dari persamaan pada regresi linier berganda mencakup dua atau lebih variabel.

3.6.4. Verifikasi dan Validasi Model

Pada penelitian ini proses verifikasi model menggunakan *logical test* untuk menjamin verifikasi parametrik, integritas dimensi, unit konsistensi. Sedangkan untuk proses validasi menggunakan *structure verification*, *parameter verification*, *boundary adequacy* dan *behavior sensitivity*. *Structure verification* dilakukan dengan pembangunan model berdasarkan literatur yang mendukung pembentukan model dari faktor dari proses desain yang mempengaruhi *constructability* dan *maintainability*. Proses *structure verification* model juga diperkuat dengan verifikasi menggunakan kuisioner yang diisi oleh *expert* yaitu *team leader* pada perencanaan proyek. *Parameter verification* dapat dilakukan dengan melakukan

validasi logika hubungan antar variabel dalam model hubungan. *Extreme Policy* dapat dilakukan dengan melakukan uji apakah model dapat mencakup semua struktur yang relevan. *Behaviour sensitivity* akan menguji sampai batas kemampuan model untuk menyesuaikan diri di dalam menghadapi respon terhadap perubahan. Menurut Tang dan Ogunlana (2003) dalam Chinda (2007) mengungkapkan bahwa model dianggap kuat (valid) jika perilakunya tidak berubah secara drastis ketika parameter atau perilaku hubungan diubah.

3.6.5. Simulasi Model

Tahapan selanjutnya setelah model CLD awal terbentuk adalah pembuatan Stock Flow Diagram (SFD). Proses pembuatan SFD pada model dilakukan dengan memasukkan parameter-parameter atau nilai-nilai sesuai hasil kuisioner penelitian sebagai input data dari masing-masing variabel yang menyusun SFD. Tahapan simulasi ini dapat dilakukan setelah variabel yang digunakan dan model yang dibentuk dalam SFD telah diverifikasi dan divalidasi.

3.6.6. Pembuatan Skenario Penelitian

Pembuatan skenario bertujuan untuk meningkatkan kinerja dari model yang dibuat. Pada tahapan ini dilakukan dengan mengubah kondisi waktu penerapan dan pengembangan model sehingga akan menghasilkan output yang berbeda dengan model awal. Berdasarkan hasil simulasi pengembangan model dibandingkan dengan output model awal dan dilakukan identifikasi apakah sudah menghasilkan perbedaan yang cukup signifikan atau tidak. Pembuatan skenario atau skenariosasi pada model dapat dilakukan setelah model yang dibentuk telah valid. Proses ini dilakukan dengan merancang berbagai kemungkinan terhadap variabel desain yang mempengaruhi *constructability* dan *maintainability*..

Pada skenario parameter, skenario pertama yang dilakukan yakni mengubah *initial value* dari variabel proses desain menjadi 100 terhadap respon *maintainability*. Skenario kedua yang dilakukan yakni dengan mengubah *initial value* variabel *constructability* menjadi 100 terhadap respon *maintainability*. Skenario ketiga yakni dengan mengubah nilai *initial value* dari proses desain dan *constructability* secara bersamaan menjadi 100 terhadap variabel respon

maintainability. Pada skenario struktur dilakukan dengan menambahkan faktor-faktor yang mempengaruhi *constructability* dan *maintainability*. Hal ini mengacu pada studi literatur yang menunjukkan bahwa dengan menerapkan faktor-faktor tersebut mampu meningkatkan *constructability* dan *maintainability* pada proyek konstruksi. Terdapat 12 skenario struktur yang dilakukan pada penelitian ini. Penjelasan mengenai skenario struktur yang dilakukan dibahas lebih detail pada Bab 4.

BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

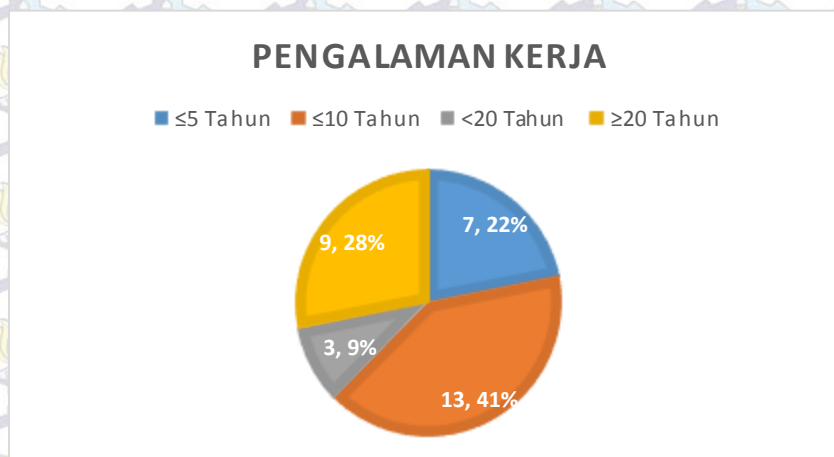
4.1. Gambaran Umum Penelitian

Penelitian yang dilakukan di lingkungan konsultan perencana di Surabaya yang tergabung dalam INKINDO ini mengambil sampel dari team leader dan staff ahli pada perencanaan proyek. Penyebaran kuisioner dimulai pada tanggal 3 Maret 2017 dengan menyebar 55 buah kuisioner dan kembali 32 buah kuisioner. Setelah kuisioner terkumpul tahap selanjutnya yakni pengolahan data. Gambaran mengenai responden yang menjadi sampel dalam penelitian ini diklasifikasikan berdasarkan pengalaman bekerja di sektor konstruksi, jabatan dan tingkat pendidikan.

4.2. Karakteristik Responden

4.2.1. Pengalaman Kerja

Dalam mendeskripsikan pengalaman lama bekerja responden. Peneliti mengelompokkan menjadi 4 kelompok. Keempat kelompok tersebut adalah ≤ 5 tahun, ≤ 10 tahun, < 20 tahun dan ≥ 20 tahun. Berikut hasil dapat dilihat pada Gambar 4.1.



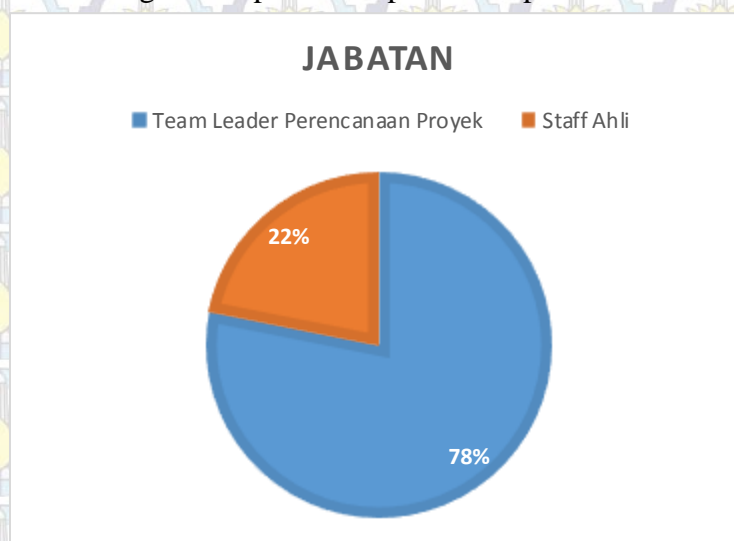
Gambar 4.1 Diagram Responden Berdasarkan Pengalaman Bekerja

Pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa responden dengan kategori pengalaman kerja < 20 tahun paling sedikit yakni hanya sebesar 3,9% atau 3

responden. Pengalaman kerja ≤ 5 tahun menunjukkan persentase yang lebih besar dibandingkan dengan yang memiliki pengalaman kerja < 20 tahun yakni sebesar 7,22% atau 7 responden. Responden dengan pengalaman kerja ≥ 20 tahun memiliki persentase sebesar 9,28% atau 9 responden dan persentase tertinggi adalah responden dengan pengalaman kerja ≤ 10 tahun atau 13 responden.

4.2.2. Jabatan

Pengelompokan data responden terkait dengan jabatan dikelompokkan sesuai dengan sampel yang telah ditentukan sebelumnya. Sampel tersebut adalah orang-orang yang dapat memahami proses perancangan atau desain pada proyek bangunan gedung sehingga desain yang dihasilkan dapat *constructable* dan *maintainable* yang terdiri dari team leader dan staff ahli dari proyek perencanaan bangunan. Berikut hasil diagram responden dapat dilihat pada Gambar 4.2.

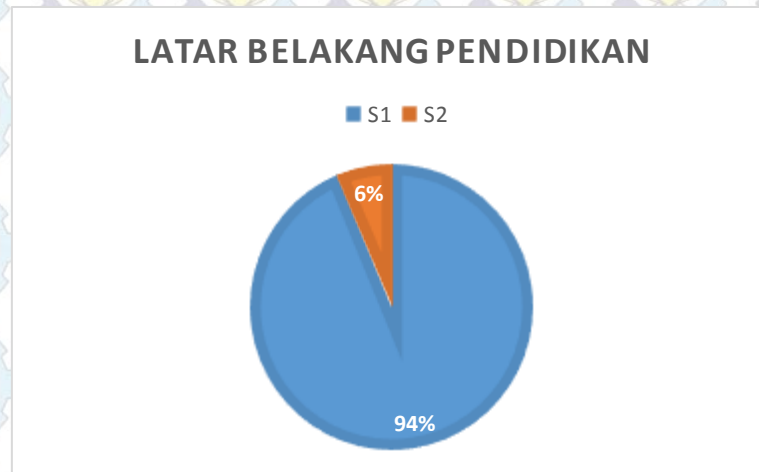


Gambar 4.2 Diagram Responden Berdasarkan Jabatan

Pada Gambar 4.2, responden dengan jabatan team leader terdiri dari 25 responden atau sebesar 78% dari total responden. Sedangkan untuk staff ahli terdiri dari 7 responden atau sebesar 22%. Perbedaan responden pada penelitian ini didapatkan karena setiap konsultan perencana memiliki narasumber terkait proses desain yang berbeda-beda.

4.2.3. Tingkat Pendidikan

Pengelompokan data responden terkait tingkat pendidikan terakhir dibagi menjadi dua bagian yakni lulusan S1 dan S2. Berikut hasil diagram responden dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Diagram Responden Berdasarkan Tingkat Pendidikan

Berdasarkan Gambar 4.3 latar belakang pendidikan responden didominasi oleh lulusan S1 yakni sebanyak 30 responden dengan persentase 94%. Sedangkan sisanya adalah lulusan S2 sebanyak 2 responden dengan persentase 6%. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas sampel dari penelitian ini memiliki pengetahuan yang cukup baik dengan jenjang pendidikan terakhir S1.

4.3. Uji Instrumen Penelitian

4.3.1. Uji Normalitas

Tahapan awal yang dilakukan sebelum pengolahan data adalah *screening* terhadap data yang akan diolah. Salah satu cara yang dapat digunakan adalah asumsi *multivariate normality*. Menurut Ghazali (2011) *multivariate normality* merupakan asumsi bahwa setiap variabel dan semua kombinasi linier dari variabel terdistribusi secara normal. Terdapat dua komponen normalitas yaitu skewness dan kurtosis. Skewness berkaitan dengan simetri distribusi. Sedangkan *skewed variable* adalah variabel yang memiliki nilai mean tidak di tengah-tengah distribusi. Kurtosis berhubungan dengan puncak suatu distribusi. Jika variabel terdistribusi secara normal maka nilai kurtosis dan skewness sama dengan nol. Morgan dan Griego (1998) dalam (Chinda, 2007) menyatakan secara umum apabila nilai skewness < 2.0

dan kurtosis <7.0 maka data masih dapat diterima. Pada Tabel 4.5 mengindikasikan bahwa 23 dari variabel penelitian terdistribusi normal. Hal ini dapat meningkatkan keyakinan terhadap data yang diperoleh.

Tabel 4.1 Hasil Skewness dan Kurtosis

No	Variabel	N	Skewness		Kurtosis	
		Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
1	Investigasi site layout (D1)	11	-.661	.661	-1.964	1.279
2	Penjadwalan(D2)	11	-.209	.661	-2.069	1.279
3	Pemasangan (D3)	11	-.329	.661	-.878	1.279
4	Modularisasi & standarisasi (D4)	11	-1.025	.661	1.563	1.279
5	Persyaratan teknsi (D5)	11	-.593	.661	-.293	1.279
6	Material (D6)	11	-.661	.661	-1.964	1.279
7	Aksesibilitas (D7)	11	-1.324	.661	.976	1.279
8	Kebutuhan gudang (D8)	11	.000	.661	-1.875	1.279
9	Sumber daya manusia (D9)	11	-.932	.661	.081	1.279
10	Koordinasi & rasionalisasi (D10)	11	-.213	.661	-2.444	1.279
11	Desain yang memerhatikan kondisi lingkungan (D11)	11	-.847	.661	-.764	1.279
12	Desain untuk konstruksi yang aman (D12)	11	-.847	.661	-.764	1.279
13	Komunikasi (D13)	11	-1.004	.661	-.458	1.279
	Valid N (listwise)	11				

4.3.2. Uji Reliabilitas (Cronbach's Alpha)

Reliabilitas menunjukkan suatu instrumen cukup dapat dipercaya untuk digunakan sebagai alat pengumpul data. Reliabilitas merupakan ukuran yang menunjukkan konsistensi dari alat ukur dalam mengukur gejala yang sama di lain kesempatan, artinya ukuran yang menunjukkan kestabilan dalam mengukur yang berarti kuesioner tersebut konsisten jika digunakan untuk mengukur konsep atau konstruk dari suatu kondisi ke kondisi yang lain. Metode Cronbach Alpha, dimana suatu kuesioner dikatakan reliabel jika nilai Cronbach Alpha lebih besar dari 0,60 (Purbayu, 2005). Pallant (2005) dalam Chinda (2007) menambahkan secara umum

nilai reliabilitas kurang dari 0,6 adalah kurang baik, nilai 0,7 dapat diterima dan nilai di atas 0,8 adalah baik.

Pada penelitian ini uji reliabilitas dengan Cronbach Alpha pada semua indikator pada masing-masing variabel menghasilkan nilai diantara 0,861-0,876. Maka semua data dapat diterima. Hal ini menunjukkan bahwa indikator yang digunakan konsisten, stabil dan dependibilitas. Sehingga jika digunakan berkali-kali dapat menghasilkan data yang sama (Husaini, Usman dkk, 2003). Hasil uji reliabilitas dengan Cronbach Alpha dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.2 Hasil Uji Reliabilitas

No	Variabel	Cronbach's Alpha
1	Investigasi site layout	.788
2	Penjadwalan	.763
3	Pemasangan	.791
4	Modularisasi & standarisasi	.766
5	Persyaratan teknis	.780
6	Material	.771
7	Aksesibilitas	.777
8	Kebutuhan gudang	.742
9	Sumber daya manusia	.756
10	Koordinasi & rasionalisasi	.774
11	Desain yang memerhatikan kondisi lingkungan	.761
12	Desain untuk konstruksi yang aman	.773
13	Komunikasi	.823

Tabel 4.3 Kesimpulan Hasil Uji Reliabilitas Cronbach Alpha

Reliability Statistics	
Cronbach's Alpha	N of Items
.871	11

4.4. Pengolahan Data Awal (Verifikasi Variabel Penelitian)

Pengolahan data awal pada penelitian ini menggunakan interpretasi skor seperti dijelaskan pada Rumus 3.1, 3.2 dan 3.3 Berikut ini merupakan hasil interpretasi skor dari pengolahan data kuisioner yang menggunakan skala likert.

4.4.1. Variabel Proses Desain

Data analisis terhadap variabel desain ini bertujuan untuk mengetahui persepsi dari responden mengenai isi kuisisioner atas beberapa pernyataan tentang indikator dari variabel desain. Terdapat 13 pernyataan yang digunakan dalam menilai proses desain.

Tabel 4.4 Interpretasi Skor Variabel Proses Desain

No	Sub Variabel	Interpretasi Skor
1	Investigasi site layout	92.73%
2	Penjadwalan	81.82%
3	Pemasangan	89.09%
4	Modularisasi & standarisasi	80%
5	Persyaratan teknis	87.27%
6	Material	92.73%
7	Aksesibilitas	90.91%
8	Kebutuhan gudang	80%
9	Sumber daya manusia	89.09%
10	Koordinasi&rasionalisasi	90.91%
11	Desain yang memerhatikan kebutuhan maintenance	87.27%
12	Desain untuk konstruksi yang aman	87.27%
13	Komunikasi	76.36%

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa sub variabel pada variabel desain disetujui penerapannya. Hal ini terlihat dengan nilai interpretasi skor dari semua indikator diatas 60%. Berdasarkan ke-13 variabel yang memiliki interpretasi skor paling tinggi adalah material dan investigasi site layout dengan pernyataan menggunakan material lokal yang ketersediaannya terjamin, kuat, sesuai, mudah dalam perawatan serta mempertimbangkan supply material jika menggunakan material impor dan pelaksanaan investigasi site dengan teliti ((seperti:letak lubang pengeboran, survei topografi, *cable detection*, survei batasan bangunan), maka sebagian besar responden menyetujui bahwa pemilihan material dan investigasi site layout merupakan hal yang sangat penting dalam proses desain. Koordinasi dan rasionalisasi merupakan faktor yang memiliki nilai terbesar kedua dengan presentase 90.91%. Pemasangan dan sumber daya manusia merupakan faktor yang memiliki nilai terbesar ketiga dengan presentase 89.09%. Persyaratan teknis, desain yang

memerhatikan keamanan saat pelaksanaan konstruksi dan desain yang memerhatikan maintenance memiliki nilai terbesar keempat dengan presentase 87.27%. Subvariabel penjadwalan mendapatkan nilai 81.82%. Modularisasi&standarisasi dan memerhatikan kebutuhan gudang mendapatkan nilai 80%. Sedangkan subvariabel yang memiliki nilai interpretasi skor paling kecil adalah komunikasi dengan nilai 76%.

4.5. Konseptualisasi Model

Model konseptual ini bertujuan untuk memberikan gambaran mengenai interaksi antar variabel dan sub variabel yang didasarkan dari studi literatur dan telah diverifikasi oleh *expert*. *Expert* pada penelitian ini yakni ketua tim perencanaan atau orang yang ahli dalam perencanaan proyek pada konsultan perencana di Surabaya. Konseptualisasi model meliputi *causal loop* diagram dan mengidentifikasi variabel dan subvariabel yang berinteraksi dan saling mempengaruhi dalam sistem.

4.5.1. Causal Loop Diagram (CLD)

Gambar 4.4 merupakan CLD yang telah diverifikasi oleh *expert*. *Causal loop* diagram (CLD) menunjukkan hubungan sebab akibat yang dihubungkan melalui anak panah. CLD bermanfaat untuk menggambarkan keterkaitan hubungan antar variabel yang terlibat dalam suatu sistem. Anak panah bertanda positif menunjukkan bahwa hubungan berbanding lurus, dimana penambahan nilai pada variabel akan menyebabkan penambahan nilai pada variabel yang dipengaruhi. Sementara anak panah yang bertanda negatif menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik, dimana penambahan nilai pada variabel tersebut akan menyebabkan pengurangan nilai pada variabel yang dipengaruhi. Model CLD awal dan model CLD yang telah terverifikasi oleh *expert* tidak terdapat perbedaan yakni tetap seperti pada Gambar 3.2.

4.5.2. Identifikasi Variabel Pada Model

Identifikasi variabel digunakan untuk mengetahui variabel-variabel yang terkait dengan model yang dibentuk. Pada penelitian ini terbagi atas tiga submodel

yakni proses desain, *constructability* dan *maintainability*. Tabel 4.7 merupakan identifikasi untuk variabel desain.

Tabel 4.5 Identifikasi Model Variabel Desain

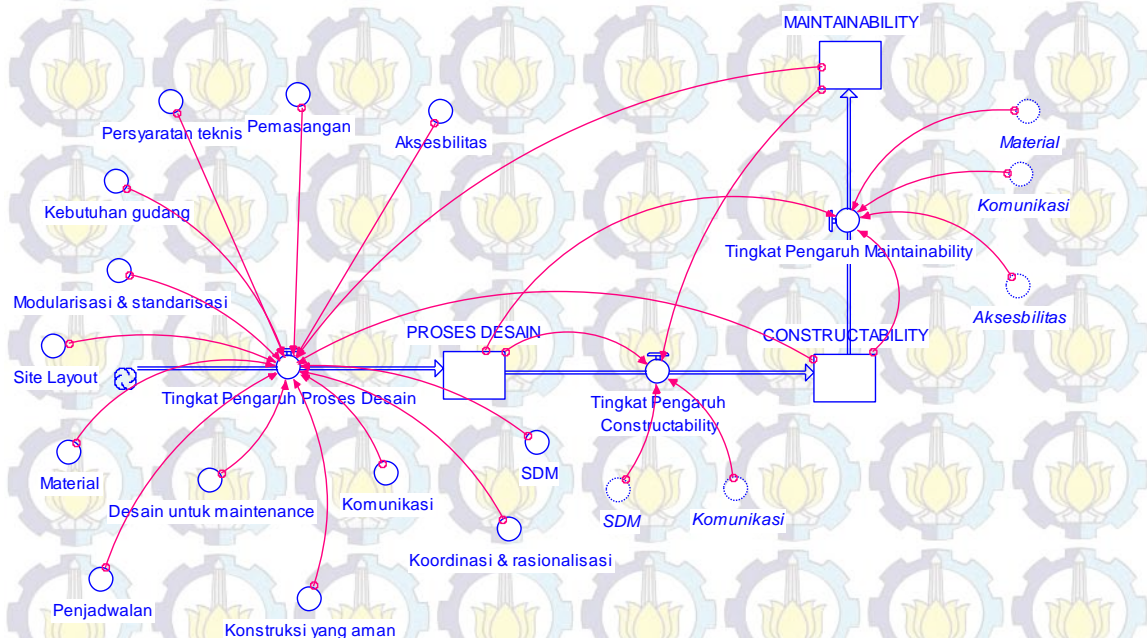
No	Sub Variabel	Deskripsi	Satuan	Simbol
1	Tingkat pengaruh proses desain	Laju pengaruh dari indikator dan subindikator proses desain	%/tahun	Flow
2	Proses desain	Jumlah persentase pengaruh proses desain	% (persen)	Stock
3	Investigasi Site Layout	Tingkat Pelaksanaan investigasi site sebelum merancang dengan teliti	% (persen)	Converter
4	Penjadwalan	Tingkat Mengikuti urutan penjadwalan pada proyek dengan perubahan gambar sewaktu-waktu di lapangan tanpa banyak rework	% (persen)	Converter
5	Pemasangan	Tingkat Mempertimbangkan kemudahan penyambungan&pemasangan antar komponen pada bangunan	% (persen)	Converter
6	Modularisasi&standarisasi	Tingkat Menggunakan bentuk bangunan yang sederhana dengan layout yang modular dan menggunakan standarisasi yang tinggi	% (persen)	Converter
7	Persyaratan Teknis	Tingkat Penentuan toleransi untuk item pekerjaan sebanyak mungkin serta menggunakan rincian blow-up untuk memeriksa kesalahan dalam desain	% (persen)	Converter
8	Materia	Tingkat Menggunakan material lokal yang ketersediaannya terjamin, kuat, sesuai, mudah dalam perawatan serta mempertimbangkan supply	% (persen)	Converter

No	Sub Variabel	Deskripsi	Satuan	Simbol
9	Aksesibilitas	Tingkat Mempertimbangkan efisiensi menuju site layout dan storage	% (persen)	Converter
10	Kebutuhan gudang	Tingkat Mempertimbangkan perlunya kebutuhan gudang	% (persen)	Converter
11	Sumber Daya Manusia	Tingkat Ketersediaan tenaga kerja yang terampil dan berpengalaman di lapangan.	% (persen)	Converter
12	Koordinasi&rasionalisasi	Tingkat Melakukan koordinasi gambar dan spesifikasi serta melakukan update spesifikasi untuk menghilangkan kesalahpahaman dan ambiguitas pada gambar	% (persen)	Converter
13	Desain maintainance	Tingkat Desain yang memperhatikan kemudahan perawatan pada saat bangunan telah beroperasi	% (persen)	Converter
14	Desain konstruksi aman	Tingkat Mengikuti rangkaian tahapan untuk keamanan saat konstruksi (seperti:menaikkan heavy mechanical dan electrical plant) dan memerhatikan ukuran dan berat material yang aman untuk ditangani pekerja.	% (persen)	Converter
15	Komunikasi	Tingkat Keterlibatan kontraktor dalam proses desain dan penyusunan strategi untuk mengurangi kurangnya rasa saling percaya antar anggota.	% (persen)	Converter

4.6. Diagram Stock and Flow


Diagram *stock and flow* pada pemodelan sistem dinamik dibuat setelah melakukan konseptualisasi model. Setiap variabel dinyatakan dalam besaran tertentu. Variabel dan subvariabel dalam simulasi sistem dinamik digambarkan dengan simbol-simbol. Pada pemodelan menggunakan sistem dinamik, SFD merupakan gambaran dari struktur secara fisik. *Stock* merupakan jumlah total yang dapat bertambah atau berkurang. Sedangkan *flow* merupakan proses aliran yang menyebabkan *stock* dapat bertambah atau berkurang. Pada gambar SFD dapat menggambarkan interaksi antar variabel proses desain, *constructability* dan *maintainability*. Pada SFD juga dapat dilihat mengenai proses untuk mendapatkan




nilai untuk *stock* dan peningkatan yang didapatkan terhadap waktu yang disimulasikan. Dengan menggunakan SFD dapat digunakan untuk mengetahui bagaimana cara untuk dapat meningkatkan *constructability* dan *maintainability* pada industri konstruksi yang dimulai pada saat proses desain. Berikut merupakan penjelasan mengenai nama dan penggunaan masing-masing simbol dalam *stock flow diagram* yang dibuat menggunakan salah satu *software* untuk pemodelan sistem dinamik. Gambar 4.4 merupakan penggambaran *stock flow diagram* awal pada model dalam penelitian ini. Tabel 4.6 merupakan keterangan dari simbol yang ada pada *software* yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 4.4 Model SFD Awal

Tabel 4.6 Keterangan Simbol yang Digunakan

No	Simbol	Nama Simbol	Keterangan
1	<div style="text-align: center;"> <p>Noname 1</p>  </div>	Stock	Hasil suatu akumulasi. Menyimpan informasi berupa nilai suatu parameter yang masuk di dalamnya

No	Simbol	Nama Simbol	Keterangan
2	 Noname 2	Flow	Aliran yang berpengaruh terhadap penambahan atau pengurangan jumlah stock. Arah anak panah menunjukkan arah aliran, bisa satu maupun dua arah.
3	 Noname 3	Converter	Berfungsi menyimpan konstanta, input bagi suatu persamaan, menyimpan data grafis.
4		Connector	Menghubungkan antar elemen pada suatu model.

4.7. Pengolahan Data Pemodelan

Proses pengumpulan data diperoleh dari para kepala perencana dan staff ahli pada konsultan perencana proyek konstruksi yang tergabung dalam INKINDO Surabaya. Data ini kemudian digunakan sebagai nilai awal pada masing-masing sub variabel yang mempengaruhi variabel proses desain. Berikut Tabel 4.12 merupakan nilai dari masing-masing subvariabel yang mempengaruhi variabel proses desain yang diperoleh dengan menggunakan teknik normalisasi pembobotan.

Tabel 4.7 Nilai Pembobotan pada Variabel Proses Desain

No	Sub Variabel	Nilai Pembobotan
1	Investigasi site layout (D1)	0.084
2	Penjadwalan (D2)	0.073
3	Pemasangan (D3)	0.073
4	Modularisasi & standarisasi (D4)	0.073
5	Persyaratan teknis (D5)	0.078
6	Material (D6)	0.078
7	Aksesibilitas (D7)	0.077
8	Kebutuhan gudang (D8)	0.070
9	Sumber daya manusia (D9)	0.075
10	Koordinasi&rasionalisasi (D10)	0.082
11	Desain yang memerhatikan kebutuhan maintenance (D11)	0.076
12	Desain untuk konstruksi yang aman (D12)	0.081
13	Komunikasi (D13)	0.073
14	Nilai Total	1

Data yang sudah dikumpulkan kemudian diolah untuk mendapatkan persamaan rumus pengaruh antar faktor sesuai Gambar 4.4. Persamaan rumus ini digunakan untuk pembuatan model sistem dinamik. Perumusan didapatkan dari penerapan teknik pengolahan statistik yakni regresi linier berganda. Dalam pengolahan data ini terdapat dua jenis variabel yang digunakan yakni variabel predictor dan variabel terikat. Variabel predictor yang dimaksud adalah faktor-faktor yang memiliki pengaruh perubahan terhadap faktor lainnya. Sebaliknya, variabel terikat yang dimaksud adalah faktor yang dipengaruhi perubahannya oleh faktor lain. Variabel predictor dan variabel terikat dicari keterkaitannya yang dituangkan ke dalam bentuk persamaan. Persamaan rumus ini yang digunakan untuk pembuatan model sistem dinamik. Berikut rekapitulasi persamaan rumus pengaruh antar faktor yang didapatkan melalui pengolahan data regresi linier berganda disajikan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.8 Hasil Pengolahan Data dengan Regresi Linier Berganda

No	Variabel Terikat	Variabel Prediktor (Faktor yang Mempengaruhi)	Persamaan Regresi Linier Berganda
1	D : Proses Desain	D1: Investigasi site layout D2: Penjadwalan D3: Pemasangan D4: Modularisasi & standarisasi D5: Persyaratan teknis D6: Material D7: Aksesibilitas D8: Kebutuhan gudang D9: Sumber daya manusia D10: Koordinasi&rasionalisasi D11: Desain yang memerhatikan kebutuhan maintenance D12: Desain untuk konstruksi yang aman D13: Komunikasi	$D: -1.020+(-0.315*0.084)+(0.214*0.073)+(-0.226*0.073)+(-0.97*0.073)+(0.419*0.078)+(0.228*0.078)+(0.013*0.077)+(-0.133*0.07)+(0.216*0.075)+(0.4*0.082)+(0.06*0.076)+(-0.072*0.081)+(-0.131*0.073)$ <pre> graph TD A[Investigasi site layout] --> H[Proses Desain] B[Kebutuhan gudang] --> H C[Komunikasi] --> H D[Desain utk maintenance] --> H E[Koordinasi& rasionalisasi] --> H F[SDM] --> H G[Desain utk konstruksi aman] --> H I[Aksesibilitas] --> H J[Material] --> H K[Persyaratan teknis] --> H L[Modularisasi &standarisasi] --> H M[Pemasangan] --> H N[Penjadwalan] --> H </pre>
2	C: Constructability	D9: Sumber daya manusia D13: Komunikasi	$C: 3.378+(0.074*0.075)+(0.181*0.131)$ <pre> graph TD A[Komunikasi] --> H[Constructability] B[SDM] --> H </pre>

3	M: Maintainability	D6: Material D7: Aksesibilitas D13: Komunikasi	<div> <div> <div>M: 3.895+(0.134*0.078)-(0.97*0.077)+(0.071*0.073)</div> <div> <div>Material</div> <div>Aksesibilitas</div> <div>Komunikasi</div> <div>Maintainability</div> </div> </div> </div>
---	--------------------	--	---

Setelah data yang digunakan sebagai pembobotan terkumpul dan dilakukan pembuatan persamaan pada model dengan menggunakan regresi linier sederhana.

Selanjutnya dilakukan pencarian data pada kontraktor dan owner yang menangani proyek bangunan gedung di Surabaya. Data ini digunakan sebagai pedoman awal untuk menentukan perilaku awal dari data secara rasional. Adapun satu dari 2 data yang dipilih digunakan sebagai data testing, yaitu untuk menguji kevalidan model dengan membandingkan hasil simulasi model dengan data testing. Tabel 4.13 merupakan data yang didapatkan dari kontraktor dan owner.

Tabel 4.9 Pengaruh antara Proses Desain terhadap *Constructability*

No	Nama Kontraktor	Proses Desain Terhadap <i>Constructability</i>
1	PT. Adhi Karya	85%
2	PT. PP	83%

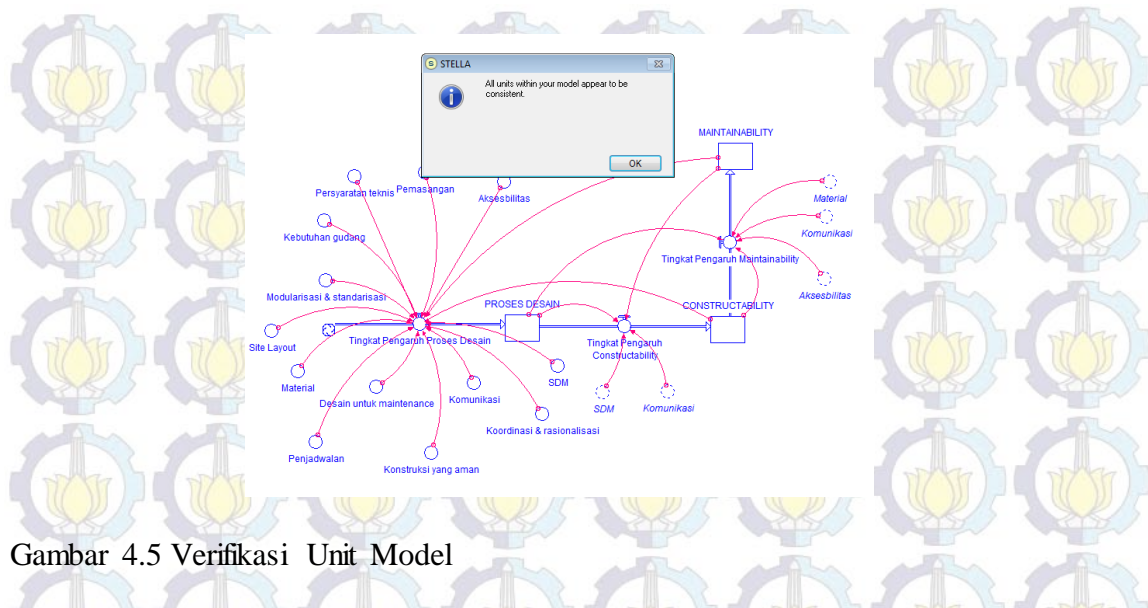
Tabel 4.10 Pengaruh antara Proses Desain dan *Constructability* terhadap *Maintainability*

No	Nama Owner	Proses Desain terhadap <i>Maintainability</i>	<i>Constructability</i> terhadap <i>Maintainability</i>	Proses Desain & <i>Constructability</i> terhadap <i>Maintainability</i>
1	PT. Adhi Persada Property	86%	56%	88%
2	PT. PP Property	90%	75%	95%

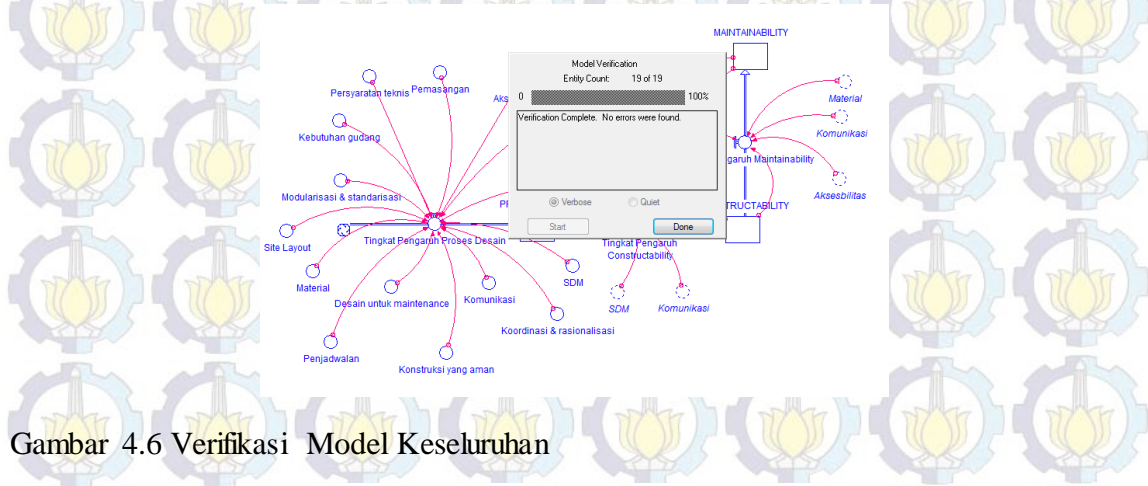
Data pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 didapatkan dari hasil wawancara dengan para expert yakni *site engineering manager*, *construction manager* dan *site operational manager* pada masing-masing proyek mengenai fakta/ pengalaman proyek seperti data mengenai presentase pengaruh proses desain terhadap *constructability* dan *maintainability*. Begitu pula dengan presentase pengaruh *constructability* terhadap *maintainability*.

4.8. Verifikasi Model

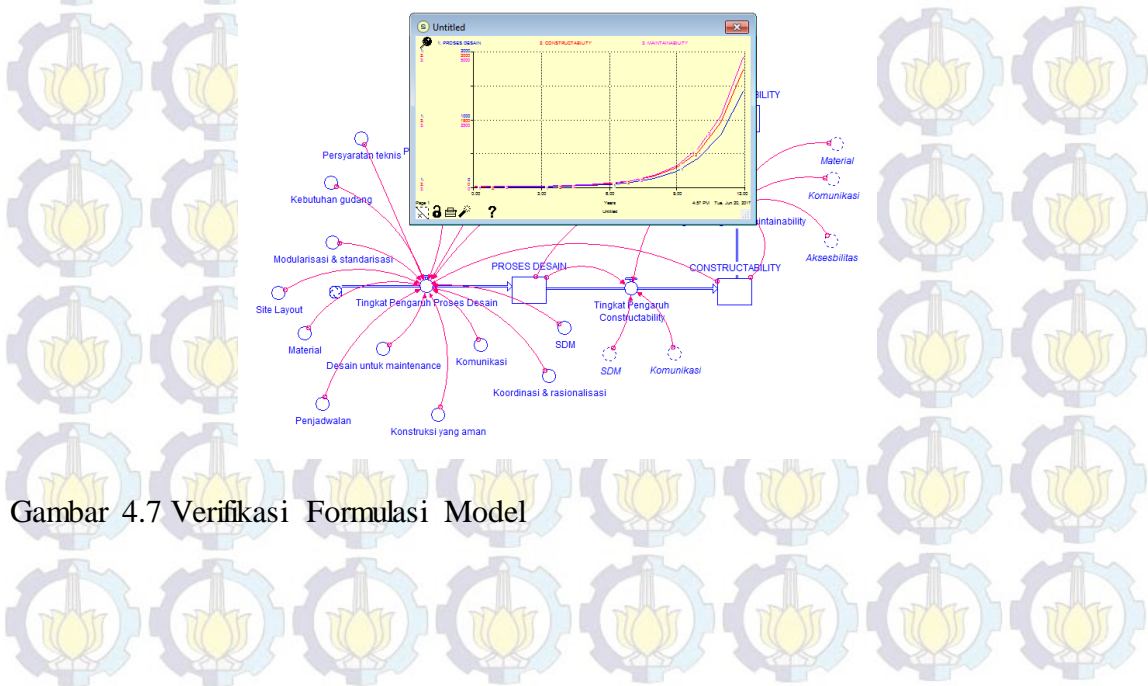
Verifikasi model bertujuan untuk mengetahui apakah model dapat *running* atau terdapat error. Verifikasi yang dilakukan yakni verifikasi unit model, model keseluruhan, formulasi model.



Gambar 4.5 Verifikasi Unit Model



Gambar 4.6 Verifikasi Model Keseluruhan



Gambar 4.7 Verifikasi Formulasi Model

Pada penelitian ini langkah verifikasi yang dilakukan dengan memeriksa unit (satuan), model yang dibentuk dan formulasi (*equation*). Pada penelitian ini model simulasi yang dibuat telah terverifikasi. Berikut Gambar 4.5 merupakan tampilan dari verifikasi model yang menunjukkan model telah terverifikasi pada unit (satuan). Gambar 4.6 merupakan tampilan dari verifikasi model keseluruhan yang menunjukkan struktur model telah terverifikasi. Gambar 4.7 merupakan tampilan dari verifikasi formulasi (*equation*) pada model yang dibentuk. Model yang telah terverifikasi dapat dilanjutkan untuk dilakukan tahapan selanjutnya.

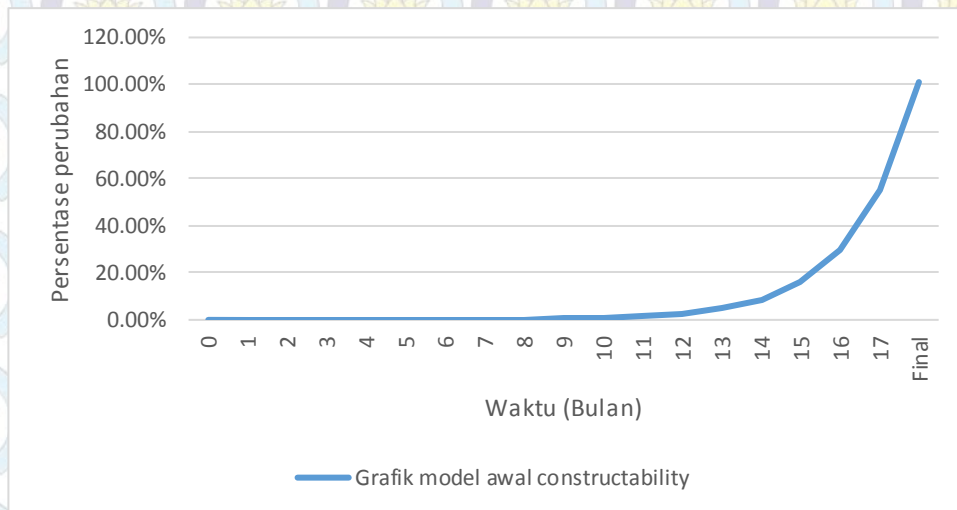
4.9. Tinjauan dan Analisis Grafis

Model awal yang sudah terbentuk dari persamaan rumus pengaruh antar faktor pada Tabel 4.8 digunakan dan dimasukkan untuk pembuatan model sistem dinamik. Model awal dijalankan dengan melakukan simulasi untuk melihat pola hubungan dari proses desain terhadap *constructability* dengan rentang waktu 1.5 tahun atau 18 bulan. Rentang waktu ini dipilih berdasarkan hasil wawancara dengan expert mengenai pengalaman membangun bangunan *high rise* jenis apartemen. Selanjutnya model dijalankan dengan melakukan simulasi untuk melihat pola hubungan dari proses desain terhadap *maintainability* dengan rentang waktu 10 tahun. Rentang waktu ini dipilih berdasarkan PermenPU-24 Tahun 2008 yang menyatakan perawatan bangunan dalam jangka waktu panjang dilakukan setiap 10-15 tahun sekali.

Tabel 4.11 Hasil Simulasi Model Awal terhadap *Constructability*

Month	Hasil Simulasi Model Awal <i>Constructability</i>
0	0
1	0.0009%
2	0.004%
3	0.01%
4	0.02%
5	0.04%
6	0.07%
7	0.12%

Month	Hasil Simulasi Model Awal Constructability
8	0.22%
9	0.41%
10	0.70%
11	1.40%
12	2.61%
13	4.80%
14	8.80%
15	16.23%
16	29.86%
17	54.93%
Final	101.04%

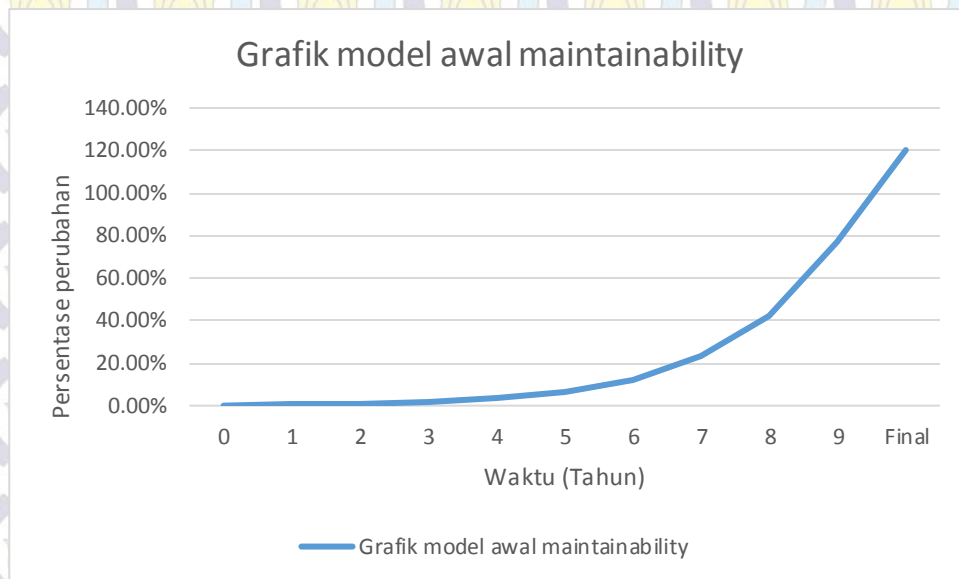


Gambar 4.8 Grafik Hasil Simulasi Model Awal terhadap *Constructability*

Tabel 4.12 Hasil Simulasi Model Awal terhadap *Maintainability*

Years	Hasil Simulasi Model Awal Maintainability
0	0
1	0.8%
2	1.2%
3	2.0%
4	3.6%
5	6.8%
6	12.4%

Years	Hasil Simulasi Model Awal Maintainability
7	23.8%
8	42.0%
9	77.2%
Final	120.19%



Gambar 4.9 Grafik Hasil Simulasi Model Awal terhadap *Maintainability*

Hasil simulasi model awal terhadap *constructability* pada bulan awal, satu, dua, tiga, empat, lima sampai bulan ke-18 mengalami peningkatan. Adapun hasil maksimum terjadi pada bulan ke-18 dimana besarnya peningkatan yang terjadi sebesar 101.04%. Sedangkan simulasi model awal terhadap *maintainability* pada tahun awal, satu, dua, tiga, empat, lima sampai tahun ke-10 mengalami peningkatan. Adapun hasil maksimum terjadi pada tahun ke 10. dimana besarnya peningkatan yang terjadi pada tahun ke-10 sebesar 120.19%.

4.10. Validasi Model

Validasi model dilakukan dengan penerapan model pada data testing, yaitu dengan membandingkan hasil simulasi dengan data *testing* pada data hubungan proses desain terhadap *constructability* dan *maintainability*. Selain itu validasi model juga dilakukan sesuai teori Barlas (1989) yakni *structural validity tests* dan *behavior validity test*. *Structural validity tests* terbagi atas uji struktur model dan uji

parameter model. Sedangkan untuk *behavior validity test* terdiri atas uji prediksi pola perilaku dan uji kondisi ekstrim.

4.10.1. Validasi Data Testing

Data yang dibandingkan antara hasil simulasi model dengan data testing pada Tabel 4.13 yaitu data yang terjadi pada bulan ke-18.

Tabel 4.13 Hasil Validasi Data Testing terhadap *Constructability*

Month	Hasil Simulasi Model Awal <i>Constructability</i>	Data testing
0	0	-
1	0.0009%	-
2	0.004%	-
3	0.01%	-
4	0.02%	-
5	0.04%	-
6	0.07%	-
7	0.12%	-
8	0.22%	-
9	0.41%	-
10	0.70%	-
11	1.40%	-
12	2.61%	-
13	4.80%	-
14	8.80%	-
15	16.23%	-
16	29.86%	-
17	54.93%	-
Final	101.04%	83%

Setelah membandingkan keduanya kemudian dihitung selisih antar data tersebut untuk dicari persentase selisih antara hasil simulasi model dengan data *real* sesuai dengan Tabel 4.9.

Persentase perubahan = $\frac{(101.04\% - 83\%)}{83\%} = 21.7\%$

Tingkat akurasi prediksi model = $100\% - 21.7\% = 78.3\%$

Hasil yang diperoleh dari uji validasi model dengan data testing menunjukkan bahwa model awal yang diusulkan dapat memprediksi peningkatan terhadap *constructability* oleh proses desain dengan akurasi 78.3% dari model awal. Selanjutnya untuk melihat besarnya akurasi prediksi dari peningkatan *maintainability* oleh proses desain. Data yang dibandingkan antara hasil simulasi model dengan data testing pada Tabel 4.14 yaitu data yang terjadi pada tahun ke-10

Tabel 4.14 Hasil Validasi Data Testing terhadap *Maintainability*

Years	Hasil Simulasi Model Awal <i>Maintainability</i>	Data testing
0	0	-
1	0.8%	-
2	1.2%	-
3	2.0%	-
4	3.6%	-
5	6.8%	-
6	12.4%	-
7	23.8%	-
8	42.0%	-
9	77.2%	-
Final	120.19%	90%

. Setelah membandingkan keduanya kemudian dihitung selisih antar data tersebut untuk dicari persentase selisih antara hasil simulasi model dengan data *real* sesuai dengan Tabel 4.10.

$$\text{Persentase perubahan} = \frac{(120.19\% - 90\%)}{90\%} = 33.5\%$$

$$\text{Tingkat akurasi prediksi model} = 100\% - 33.5\% = 66.5\%$$

Hasil yang diperoleh dari uji validasi model dengan data testing menunjukkan bahwa model awal yang diusulkan dapat memprediksi peningkatan terhadap *maintainability* oleh proses desain dengan akurasi 66.5% dari model awal.

4.10.2. Structure Verification Test

Uji struktur model dilakukan untuk dapat mengetahui sejauh mana struktur model dapat menyerupai sistem nyata. Validitas dari struktur model dilakukan dengan pembangunan model berdasarkan literatur yang mendukung pembentukan model dari faktor dari proses desain yang mempengaruhi *constructability* dan *maintainability*. Proses uji validasi struktur model juga diperkuat dengan verifikasi menggunakan kuisioner yang diisi oleh *expert* yaitu *team leader* yang memiliki pengalaman antara 5-30 tahun di bidang konstruksi. Sehingga struktur model yang dibuat dapat mendekati gambaran nyata mengenai kondisi sebenarnya di industri konstruksi.

Tabel 4.15 Uji Struktur Model

No	Pernyataan	Interpretasi skor
1	Pengaruh proses desain terhadap <i>constructability</i>	83%
2	Pengaruh desain terhadap <i>maintainability</i>	90%
3	Pengaruh <i>constructability</i> terhadap <i>maintainability</i>	75%

Berdasarkan hasil wawancara dengan *expert* pada Tabel 4.15 menunjukkan bahwa keseluruhan menunjukkan presentase di atas 50%. Hal tersebut menunjukkan bahwa struktur model yang dibentuk telah valid.

4.10.3. Parameter Verification Test

Uji parameter berarti membandingkan parameter model dengan pengetahuan sistem yang nyata untuk menentukan apakah parameter sesuai secara konseptual dan numerik terhadap kondisi nyata. *Structure verification* dan *parameter verification* saling terkait. Pada penelitian ini CLD yang terbentuk didapatkan dari studi literatur yang diperdalam dengan pendapat *expert*. Sedangkan nilai yang didapatkan sebagai input data didapatkan dari hasil survei kuisioner. Pada uji parameter model ini bertujuan untuk mengetahui konsistensi dari variabel-variabel yang menjadi input dalam model yang dibentuk. Uji parameter model dapat dilakukan dengan melakukan validasi logika hubungan antar variabel dalam

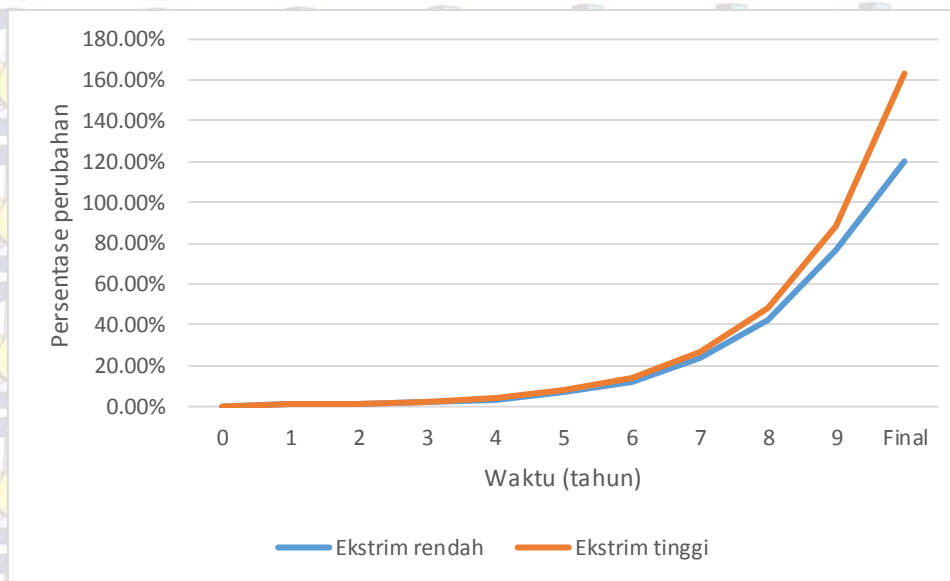
model hubungan. Hubungan antar variabel dalam model yang sebelumnya telah digambarkan melalui diagram CLD akan diuji melalui gambaran grafik dari simulasi model yang telah dibuat. Hasil *Parameter Verification Test* dapat dilihat pada Gambar 4.4, Gambar 4.8 dan Gambar 4.9. Pada Gambar 4.4 merupakan gambar dari model SFD awal secara keseluruhan dan Gambar 4.8 merupakan grafik dari hasil simulasi proses desain terhadap *constructability* dan Gambar 4.9 merupakan grafik dari hasil simulasi proses desain terhadap *maintainability*. Pada gambar tersebut dapat dilihat semakin banyak faktor yang mempengaruhi variabel dengan hubungan yang (+) maka nilai presentase yang didapatkan semakin besar. Hal tersebut menunjukkan bahwa masing-masing submodel telah mengikuti logika hubungan antar variabel yang telah digambarkan dalam CLD.

4.10.4. Extreme Policy Test

Pada *Extreme Policy* test atau uji kondisi ekstrim dilakukan dengan menguji kebijakan dalam sebuah model. Masing-masing variabel menentukan persamaan tingkat yang dihasilkan. Uji kondisi ekstrim efektif dilakukan. Karena dua alasan. Pertama, jenis uji ini kuat untuk menemukan kekurangan dalam struktur model. Kedua, untuk meningkatkan kegunaan model untuk menganalisis kebijakan atau skenario yang akan dilakukan. Penggunaan indeks nilai ekstrim rendah dan tinggi berdasarkan pada terdapat lima skor likert. Maka hasil interval jaraknya adalah 20. Interval terendah 0% hingga tertinggi 100%. Kriteria interpretasi skor berdasarkan intervalnya adalah sebagai berikut. Angka 0%-19,99% menginterpretasikan sangat tidak setuju. Angka 20%- 39,99% menginterpretasikan tidak setuju. Angka 40%-59,99% menginterpretasikan cukup/netral. Angka 60- 79,99% menginterpretasikan setuju. Angka 80% - 100% menginterpretasikan sangat setuju. Jika dengan kondisi ekstrim model tetap memberikan hasil yang sesuai dan logis maka model dikatakan valid. Sebaliknya jika hasil yang didapatkan tidak logis maka terdapat kesalahan dalam model. Pada penelitian ini uji kondisi ekstrim dilakukan terhadap salah satu submodel yakni proses desain. Variabel yang akan diubah nilainya merupakan proses desain. Sedangkan responnya adalah *maintainability*.

Tabel 4.16 Hasil *Extreme Policy Test*

Years	Kondisi Extreme Rendah	Kondisi Extreme Tinggi
0	0	0
1	0.8%	1.08%
2	0.12%	1.12%
3	2.0%	2.2%
4	3.6%	4.36%
5	6.8%	7.68%
6	12.4%	14.25%
7	23.8%	26.29%
8	42.0%	48.21%
9	77.2%	88.74%
Final	120.19%	163.24%



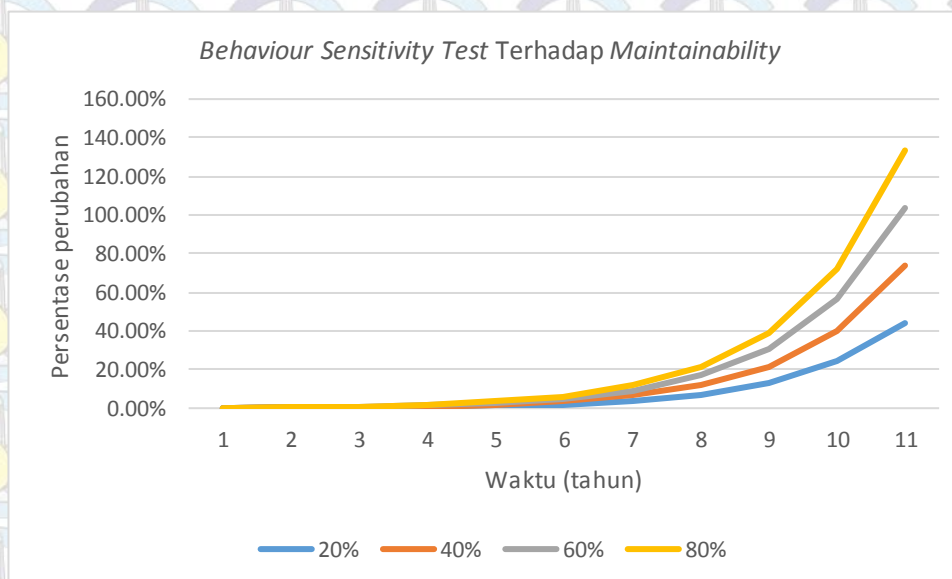
Gambar 4.10 Grafik Hasil *Extreme Policy Test*

Gambar 4.11 merupakan hasil uji kondisi ekstrim. Simulasi dilakukan 10 tahun. Mengingat *maintenance* jangka panjang pada bangunan menurut PermenPU-24 Tahun 2008 dilakukan setiap 10-15 tahun sekali. Pada uji kondisi ekstrim yang dilakukan pada variabel desain. Digunakan variabel desain sebagai variabel yang akan dimasukkan ekstrim rendah (1) dan ekstrim tinggi (2) ke dalam model. Hasil simulasi kondisi ekstrim rendah terhadap *maintainability* pada tahun awal, satu,

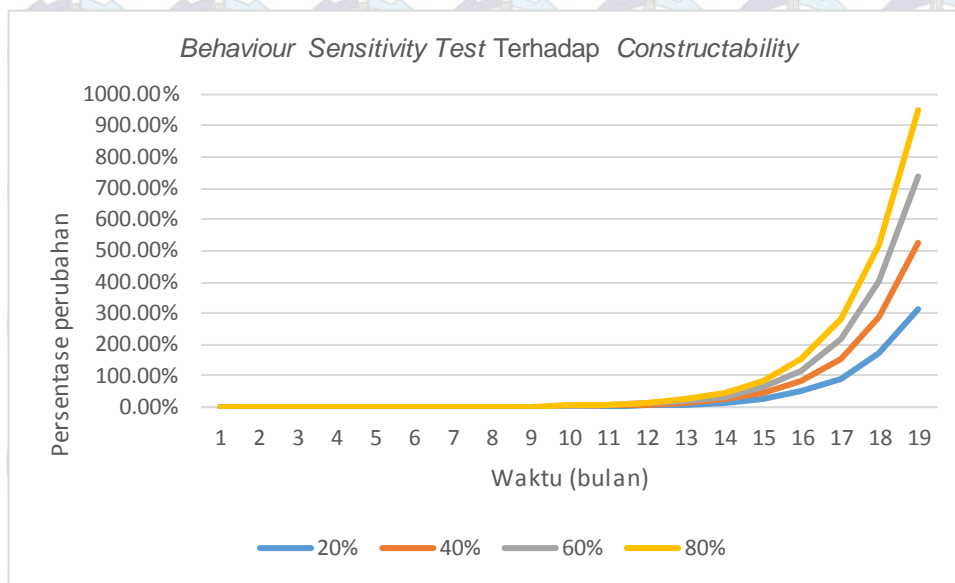
dua, tiga, empat, lima sampai tahun ke-10 mengalami peningkatan. Adapun hasil maksimum terjadi pada tahun ke-10 pada kondisi ekstrim rendah dimana besarnya peningkatan yang terjadi sebesar 120.19%. Sedangkan untuk nilai kondisi ekstrim tinggi hasil maksimum terjadi pada tahun ke-10 dimana besarnya peningkatan yang terjadi sebesar 133.44%.

4.10.5. Behaviour Sensitivity

Uji Prediksi Pola Perilaku bertujuan untuk menentukan apakah pola perilaku yang dihasilkan oleh model cukup dekat dengan pola utama yang ditunjukkan oleh sistem sebenarnya. Uji ini akan menguji sampai batas kemampuan model untuk menyesuaikan diri di dalam menghadapi respon terhadap perubahan. Menurut Tang dan Ogunlana (2003) dalam Chinda (2007) mengungkapkan bahwa model dianggap kuat (valid) jika perilakunya tidak berubah secara drastis ketika parameter atau perilaku hubungan diubah.



Gambar 4.11 Grafik Hasil *Behaviour Sensitivity Test Terhadap Maintainability*.



Gambar 4.12 Grafik Hasil *Behaviour Sensitivity Test Terhadap Constructability*

Pada penelitian ini uji sensitivitas yakni sebagai respon dilakukan terhadap submodel *constructability* dan *maintainability*. Variabel yang akan diubah nilainya merupakan proses desain. Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 merupakan hasil uji sensitivitas yang menunjukkan bahwa dengan menambahkan persentase pada variabel proses desain secara bervariasi dari 20, 40, 60 dan 80. Hasil dari uji ini pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 menunjukkan bahwa perubahan *initial value* hanya mempengaruhi perilaku model secara numerik dan pola atau tren dari grafik tetap sama. Hal tersebut menunjukkan bahwa model telah valid.

4.11. Skenario Pemodelan

Terdapat dua jenis skenario yang dilakukan pada penelitian ini. Yakni skenario parameter dan struktur. Skenario parameter dilakukan dengan mengubah nilai parameter pada model. Skenario parameter bertujuan untuk dampak yang paling signifikan terhadap *maintainability* dari variabel proses desain dan *constructability*. Skenario parameter yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Skenario Parameter yang Dilakukan

No	Skenario	Parameter Model	Pengaruhnya Terhadap
1	Skenario 1	Desain	<i>Maintainability</i>

No	Skenario	Parameter Model	Pengaruhnya Terhadap
2	Skenario 2	<i>Constructability</i>	<i>Maintainability</i>
3	Skenario 3	Desain dan <i>Constructability</i>	<i>Maintainability</i>

Skenario yang sudah terbentuk kemudian disimulasikan dan dianalisis untuk melihat dampaknya terhadap output model selama 15 tahun ke depan. Hasil dari simulasi ketiga skenario dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Hasil Skenario Parameter terhadap *Maintainability*

Years	Hasil Simulasi Model Awal <i>Maintainability</i>	Hasil Simulasi Skenario 1	Hasil Simulasi Skenario 2	Hasil Simulasi Skenario 3
0	0	0	0	0
1	0.8%	1.0%	1.2%	2.0%
2	1.2%	1.3%	2.1%	3.1%
3	2.0%	2.2%	3.2%	5.2%
4	3.6%	4.3%	6.4%	10.4%
5	6.8%	7.6%	11.8%	18.8%
6	12.4%	14.2%	21.5%	34.5%
7	23.8%	26.2%	39.7%	63.7%
8	42.0%	48.2%	73.0%	117.0%
9	77.2%	88.7%	134.3%	215.3%
Final	120.19%	163.2%	247.2%	396.2%

Hasil dari skenario parameter menunjukkan bahwa skenario 3 memberikan dampak yang paling signifikan terhadap peningkatan *maintainability*. Skenario 3 yang dilakukan yakni dengan mengubah nilai parameter proses desain dan *constructability* secara bersamaan dan memberikan peningkatan sebesar 69.6% dari model awal pada tahun ke-10.

$$\text{Persentase perubahan skenario 3} = \frac{(396.2\% - 120.19\%)}{120.19\%} = 69.6\%$$

Skenario kedua yang dilakukan yaitu skenario struktur. Pada skenario struktur dimasukkan faktor-faktor yang dapat meningkatkan *constructability* dan *maintainability*. Faktor-faktor tersebut diperoleh berdasarkan studi literatur. Faktor yang dimasukkan pada variabel *constructability* adalah integrasi, pengetahuan&

pengalaman, metode konstruksi dan spesifikasi. Sedangkan faktor yang dimasukkan pada variabel maintainability antara lain daya tahan, kemudahan pembersihan, ketersediaan, fleksibilitas, identifikasi dan supplier. Faktor-faktor tersebut dimasukkan dan dikombinasikan ke dalam model awal yang sudah tervalidasi. Skenario struktur yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Skenario Struktur yang Dilakukan

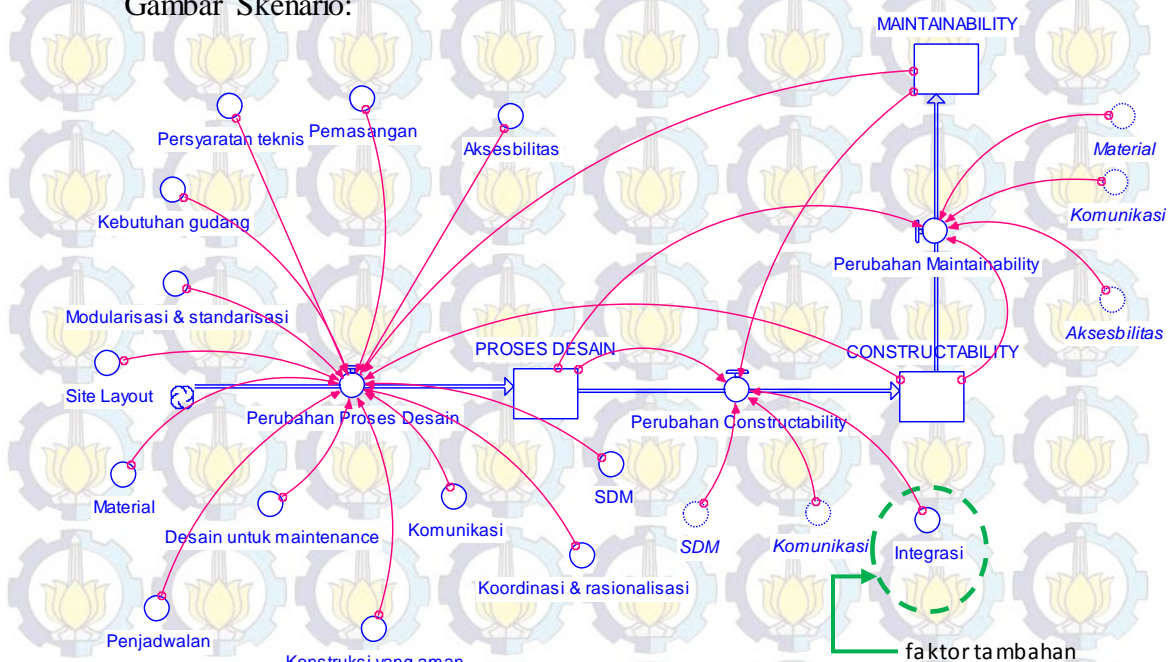
No	Skenario	Faktor Tambahan	Pengaruhnya Terhadap
1	Skenario 1	Integrasi	<i>Constructability</i>
2	Skenario 2	Pengetahuan dan pengalaman konstruksi	<i>Constructability</i>
3	Skenario 3	Metode konstruksi	<i>Constructability</i>
4	Skenario 4	Spesifikasi	<i>Constructability</i>
5	Skenario 5	Integrasi Pengetahuan dan pengalaman konstruksi Metode konstruksi Spesifikasi	<i>Constructability</i>
6	Skenario 6	Daya tahan	<i>Maintainability</i>
7	Skenario 7	Kemudahan pembersihan	<i>Maintainability</i>
8	Skenario 8	Ketersediaan	<i>Maintainability</i>
9	Skenario 9	Fleksibilitas	<i>Maintainability</i>
10	Skenario 10	Identifikasi	<i>Maintainability</i>
11	Skenario 11	Supplier	<i>Maintainability</i>
12	Skenario 12	Daya tahan Kemudahan pembersihan Ketersediaan Fleksibilitas Identifikasi Supplier	<i>Maintainability</i>

Data penelitian untuk faktor-faktor pada Tabel 4.19 diperoleh berdasarkan survei kuisioner dengan responden para *expert* (kepala perencanaan dan staff ahli perencanaan) pada konsultan perencana mengenai fakta/pengalaman dari perencanaan proyek terdahulu dalam upaya meningkatkan *constructability* dan *maintainability*. Data mengenai hasil kuisioner terdapat pada Lampiran. Data yang sudah dikumpulkan kemudian diolah untuk mendapatkan rumus persamaan. Rumus persamaan ini digunakan untuk menjalankan model dengan menggunakan pendekatan sistem dinamik. Perumusan didapatkan dari penerapan teknik

normalisasi pembobotan dan teknik pengolahan data statistik yakni Regresi Linier Berganda. Pada pembahasan ini akan diuraikan 12 skenario yang memiliki tujuan umum yaitu meningkatkan *constructability* dan *maintainability* pada proyek konstruksi. Berikut merupakan penjelasan dari masing-masing skenario:

1. Skenario 1: Skenario pengembangan struktur dengan penambahan satu faktor yakni integrasi pada variabel *constructability*.

Gambar Skenario:



Gambar 4.13 Stock Flow Diagram Skenario 1

Cara: Data pada faktor integrasi diolah bersama dengan data faktor SDM dan komunikasi. Dari data tersebut dilakukan pengolahan menggunakan normalisasi pembobotan dan teknik pengolahan data statistik yakni regresi linier berganda. Berikut persamaan untuk skenario 1.

$$X1 = 1.2 - (0.058 * \text{SDM}) + (0.065 * \text{Komunikasi}) + (0.737 * \text{Integrasi})$$

Dimana,

$X1$ = Perubahan/penambahan *constructability*

SDM = Nilai pembobotan data faktor SDM

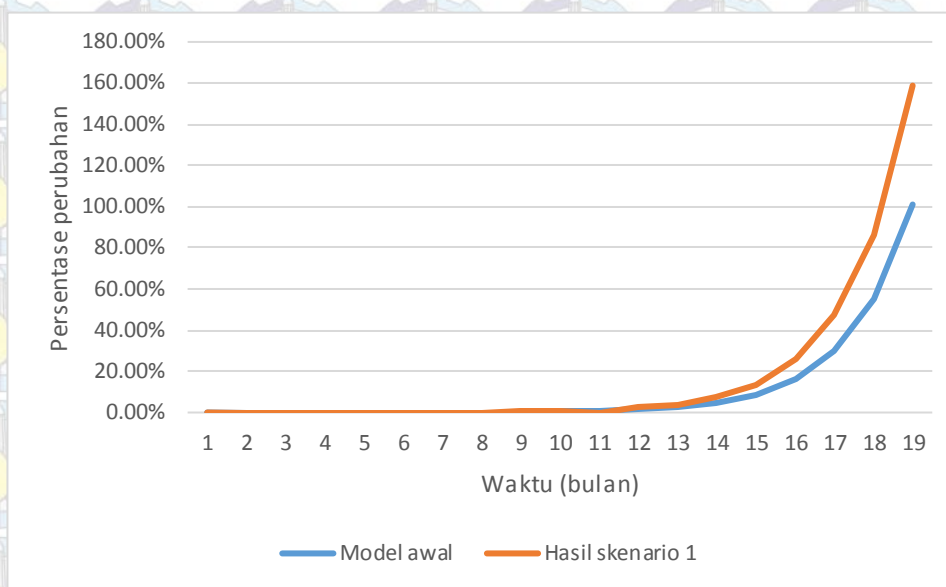
Komunikasi = Nilai pembobotan data faktor komunikasi

Integrasi = Nilai pembobotan data faktor integrasi

Hasil:

Tabel 4.20 Hasil Simulasi Skenario 1

Month	Hasil Skenario 1	Hasil Simulasi Model Awal Constructability
0	0	0
1	0.00011%	0.0009%
2	0.009%	0.004%
3	0.01%	0.01%
4	0.03%	0.02%
5	0.06%	0.04%
6	0.10%	0.07%
7	0.19%	0.12%
8	0.35%	0.22%
9	0.65%	0.41%
10	0.12%	0.70%
11	2.23%	1.40%
12	4.10%	2.61%
13	7.54%	4.80%
14	13.80%	8.80%
15	25.53%	16.23%
16	46.96%	29.86%
17	86.38%	54.93%
Final	158.80%	101.04%



Gambar 4.14 Model Grafik Hubungan Skenario 1 terhadap Model Awal

Hasil simulasi menunjukkan *constructability* mengalami peningkatan apabila dibandingkan dengan model awal. Penambahan satu faktor yakni integrasi dapat memberikan peningkatan *constructability* sebesar 36.37% di bulan ke-18 pada masa pelaksanaan konstruksi. Hasil tersebut didapatkan dengan menghitung selisih antara hasil output pada bulan ke-18 pada model awal dan skenario 1, kemudian dicari nilai persentase selisihnya.

$$\text{Persentase perubahan skenario 1} = \frac{(158.80\% - 101.04\%)}{158.80\%} = 36.37\%$$

2. Skenario 2: Skenario pengembangan struktur dengan penambahan satu faktor yakni pengetahuan dan pengalaman pada variabel *constructability*.

Cara: Data pada faktor pengetahuan dan pengalaman diolah bersama dengan data faktor SDM dan komunikasi. Dari data tersebut dilakukan pengolahan menggunakan normalisasi pembobotan dan teknik pengolahan data statistik yakni regresi linier berganda. Berikut persamaan untuk skenario 2

$$X1 = 2.028 - (0.092 * \text{SDM}) + (0.033 * \text{Komunikasi}) + (0.587 * \text{Pengetahuan \& pengalaman})$$

Dimana,

X1 = Perubahan/penambahan *constructability*

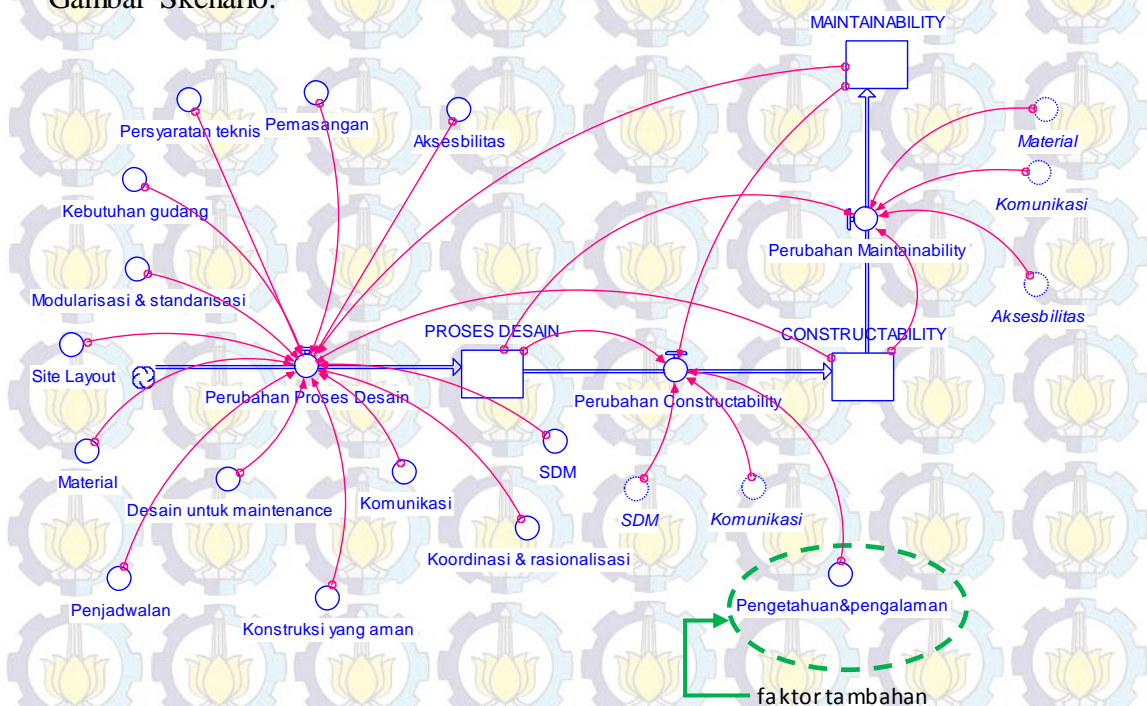
SDM = Nilai pembobotan data faktor SDM

Komunikasi = Nilai pembobotan data faktor komunikasi

Pengetahuan

& pengalaman = Nilai pembobotan data faktor pengetahuan & pengalaman

Gambar Skenario:



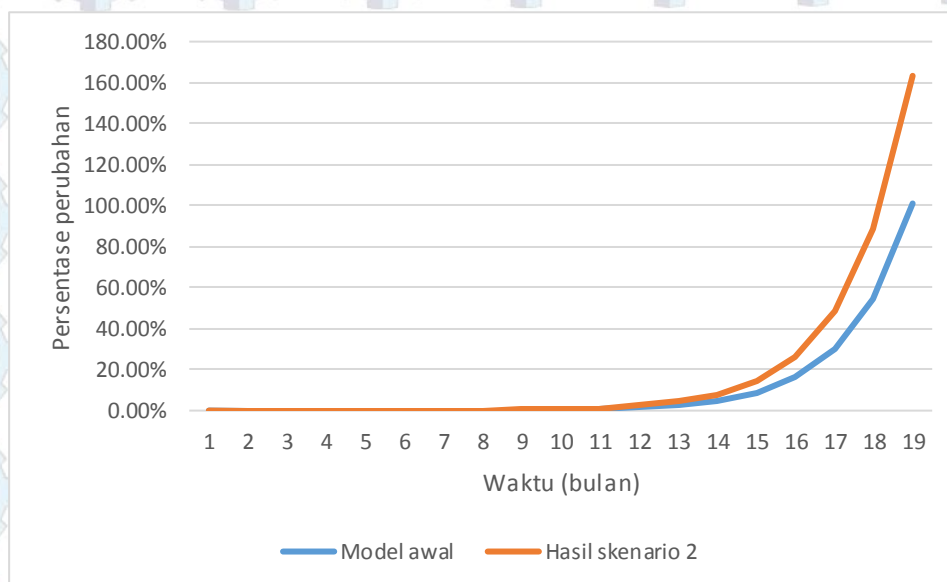
Gambar 4.15 Stock Flow Diagram Skenario 2

Hasil:

Tabel 4.21 Hasil Simulasi Skenario 2

Month	Hasil Skenario 2	Hasil Simulasi Model Awal Constructability
0	0	0
1	0.0009%	0.0009%
2	0.004%	0.004%
3	0.01%	0.01%

Month	Hasil Skenario 2	Hasil Simulasi Model Awal Constructability
4	0.03%	0.02%
5	0.06%	0.04%
6	0.10%	0.07%
7	0.19%	0.12%
8	0.36%	0.22%
9	0.67%	0.41%
10	1.24%	0.70%
11	2.29%	1.40%
12	4.21%	2.61%
13	7.75%	4.80%
14	14.27%	8.80%
15	26.24%	16.23%
16	48.27%	29.86%
17	88.79%	54.93%
Final	163.31%	101.04%



Gambar 4.16 Model Grafik Hubungan Skenario 2 terhadap Model Awal

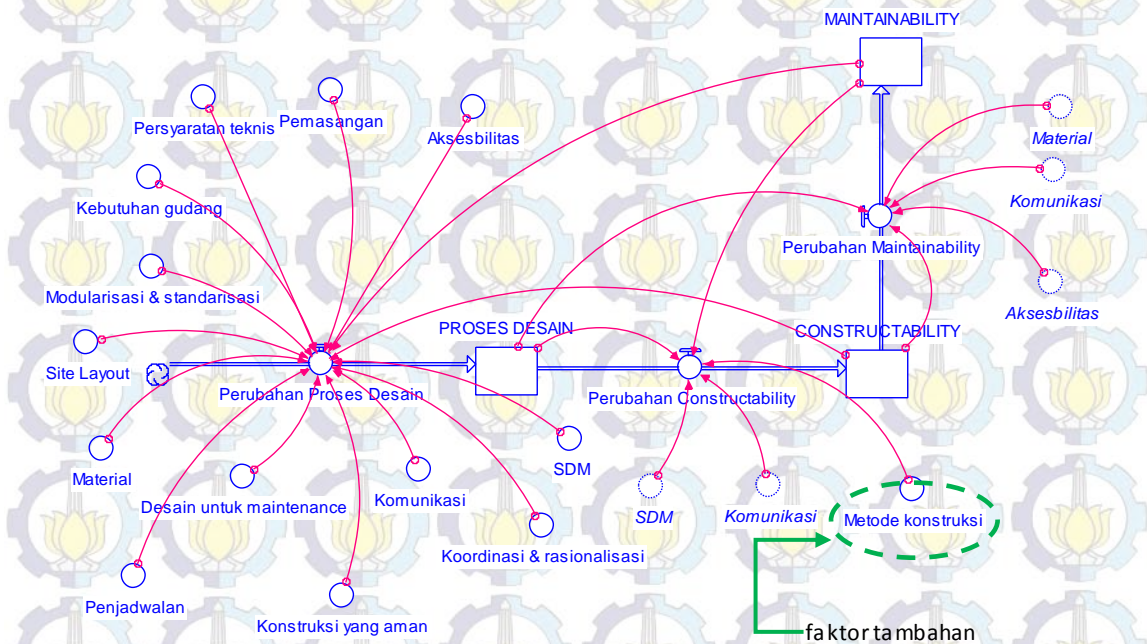
Hasil simulasi menunjukkan *constructability* mengalami peningkatan apabila dibandingkan dengan model awal. Penambahan satu faktor yakni pengetahuan

dan pengalaman dapat memberikan peningkatan *constructability* sebesar 38.12% di bulan ke-18 pada masa pelaksanaan konstruksi. Hasil tersebut didapatkan dengan menghitung selisih antara hasil output pada bulan ke-18 pada model awal dan skenario 2, kemudian dicari nilai persentase selisihnya.

$$\text{Persentase perubahan skenario 2} = \frac{(163.31\% - 101.04\%)}{163.31\%} = 38.12\%$$

3. Skenario 3: Skenario pengembangan struktur dengan penambahan satu faktor yakni metode konstruksi pada variabel *constructability*.

Gambar Skenario:



Gambar 4.17 Stock Flow Diagram Skenario 3

Cara: Data pada faktor metode konstruksi diolah bersama dengan data faktor SDM dan komunikasi. Dari data tersebut dilakukan pengolahan menggunakan normalisasi pembobotan dan teknik pengolahan data statistik yakni regresi linier berganda. Berikut persamaan untuk skenario 3

$$X1 = 0.410 + (0.102 * \text{SDM}) + (0.144 * \text{Komunikasi}) + (0.662 * \text{Metode konstruksi})$$

Dimana,

X1 = Perubahan/penambahan *constructability*

SDM = Nilai pembobotan data faktor SDM

Komunikasi = Nilai pembobotan data faktor komunikasi

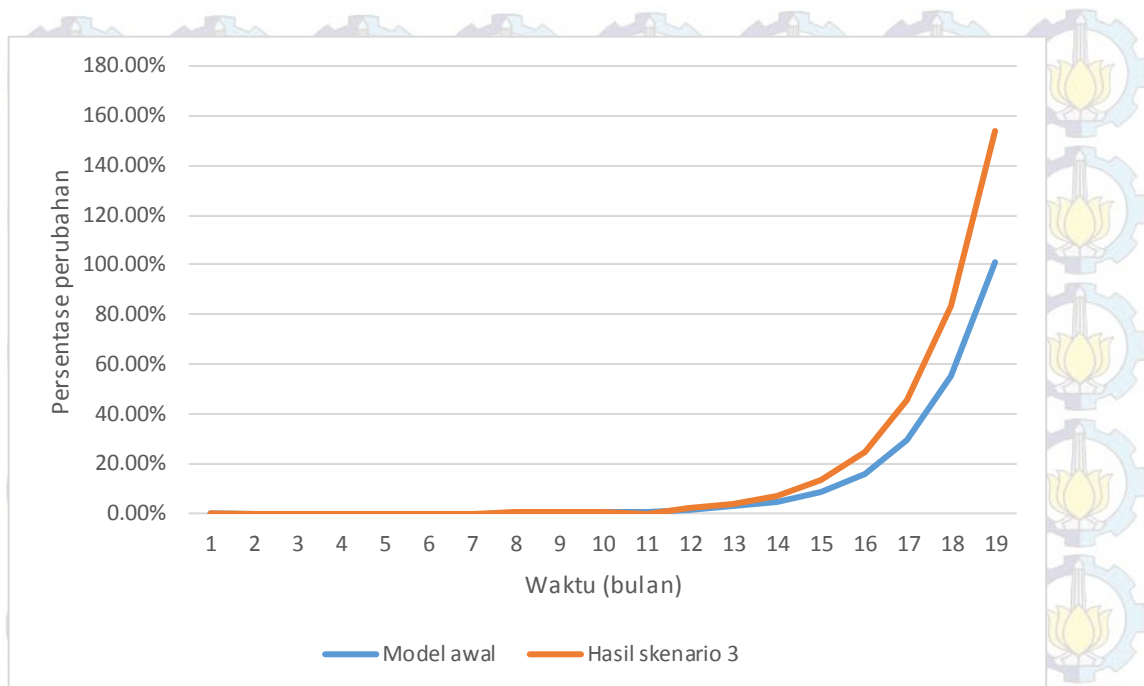
Metode

konstruksi = Nilai pembobotan data faktor metode konstruksi

Hasil:

Tabel 4.22 Hasil Simulasi Skenario 3

Month	Hasil Skenario 3	Hasil Simulasi Model Awal Constructability
0	0	0
1	0.0009%	0.0009%
2	0.004%	0.004%
3	0.0001	0.01%
4	0.03%	0.02%
5	0.05%	0.04%
6	0.10%	0.07%
7	0.18%	0.12%
8	0.34%	0.22%
9	0.63%	0.41%
10	0.11%	0.70%
11	2.15%	1.40%
12	3.97%	2.61%
13	7.30%	4.80%
14	13.44%	8.80%
15	24.72%	16.23%
16	45.47%	29.86%
17	83.64%	54.93%
Final	153.85%	101.04%



Gambar 4.18 Model Grafik Hubungan Skenario 3 terhadap Model Awal

Hasil simulasi menunjukkan *constructability* mengalami peningkatan apabila dibandingkan dengan model awal. Penambahan satu faktor yakni metode konstruksi dapat memberikan peningkatan *constructability* sebesar 34.24% di bulan ke-18 pada masa pelaksanaan konstruksi. Hasil tersebut didapatkan dengan menghitung selisih antara hasil output pada bulan ke-18 pada model awal dan skenario 3, kemudian dicari nilai persentase selisihnya.

$$\text{Persentase perubahan skenario 3} = \frac{(153.85\% - 101.04\%)}{153.85\%} = 34.24\%$$

4. Skenario 4: Skenario pengembangan struktur dengan penambahan satu faktor yakni spesifikasi pada variabel *constructability*.

Cara: Data pada faktor spesifikasi diolah bersama dengan data faktor SDM dan komunikasi. Dari data tersebut dilakukan pengolahan menggunakan normalisasi pembobotan dan teknik pengolahan data statistik yakni regresi linier berganda.

Berikut persamaan untuk skenario 4:

$$X1 = 1.015 + (0.096 * \text{SDM}) + (0.166 * \text{Komunikasi}) + (0.549 * \text{Spesifikasi})$$

Dimana,

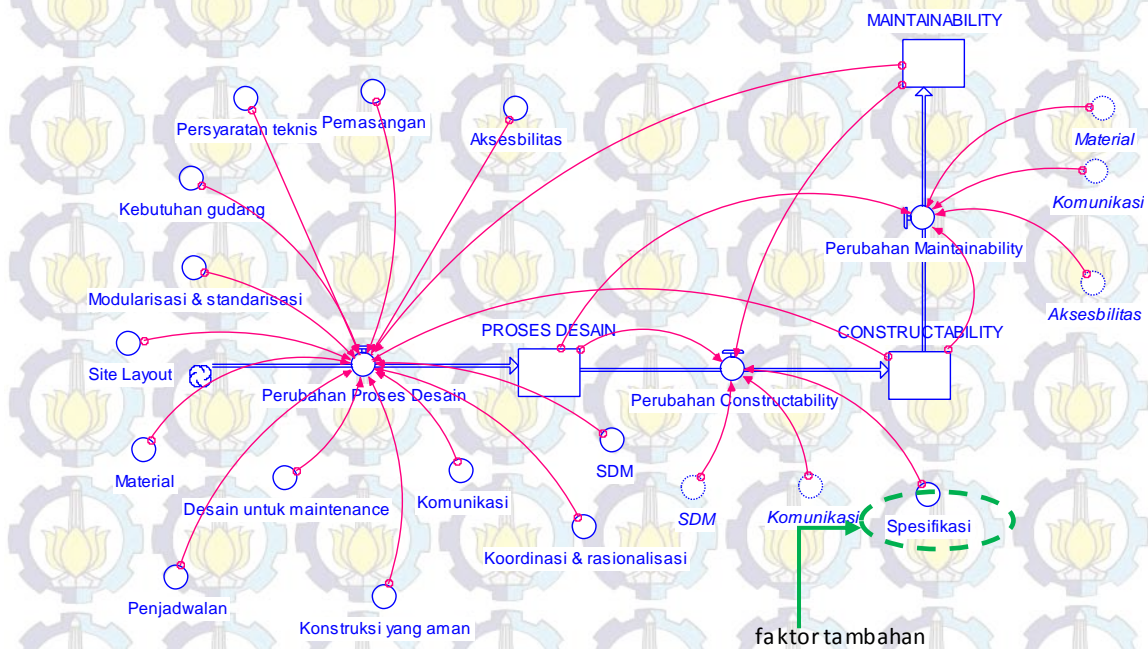
X1 = Perubahan/penambahan *constructability*

SDM = Nilai pembobotan data faktor SDM

Komunikasi = Nilai pembobotan data faktor komunikasi

Spesifikasi = Nilai pembobotan data faktor spesifikasi

Gambar Skenario:



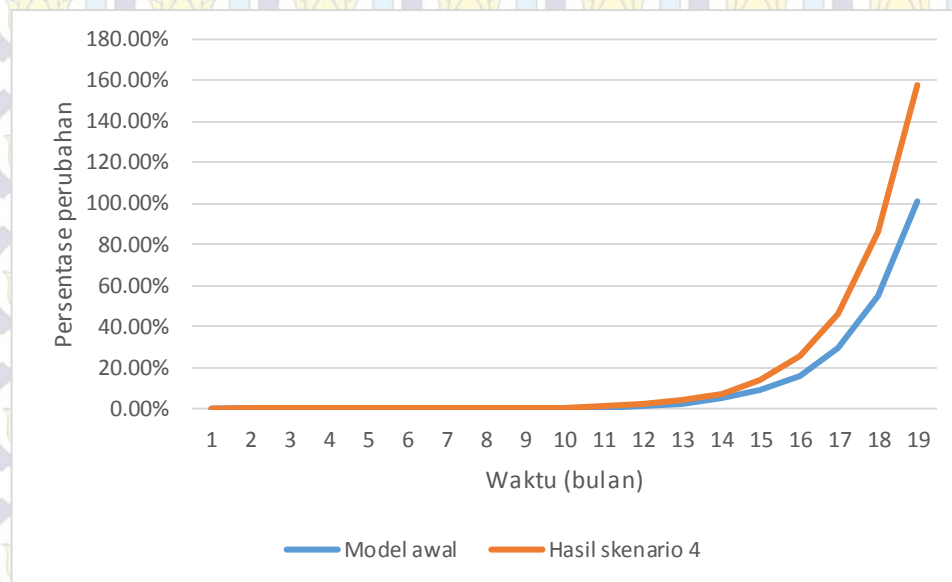
Gambar 4.19 Stock Flow Diagram Skenario 4

Hasil:

Tabel 4.23 Hasil Simulasi Skenario 4

Month	Hasil Skenario 4	Hasil Simulasi Model Awal Constructability
0	0	0
1	0.0009%	0.0009%
2	0.009%	0.004%
3	0.01%	0.01%
4	0.03%	0.02%
5	0.05%	0.04%
6	0.10%	0.07%
7	0.19%	0.12%
8	0.35%	0.22%

Month	Hasil Skenario 4	Hasil Simulasi Model Awal Constructability
9	0.65%	0.41%
10	1.20%	0.70%
11	2.21%	1.40%
12	4.07%	2.61%
13	7.49%	4.80%
14	13.78% ¹	8.80%
15	25.34%	16.23%
16	46.62%	29.86%
17	85.75%	54.93%
Final	157.73%	101.04%



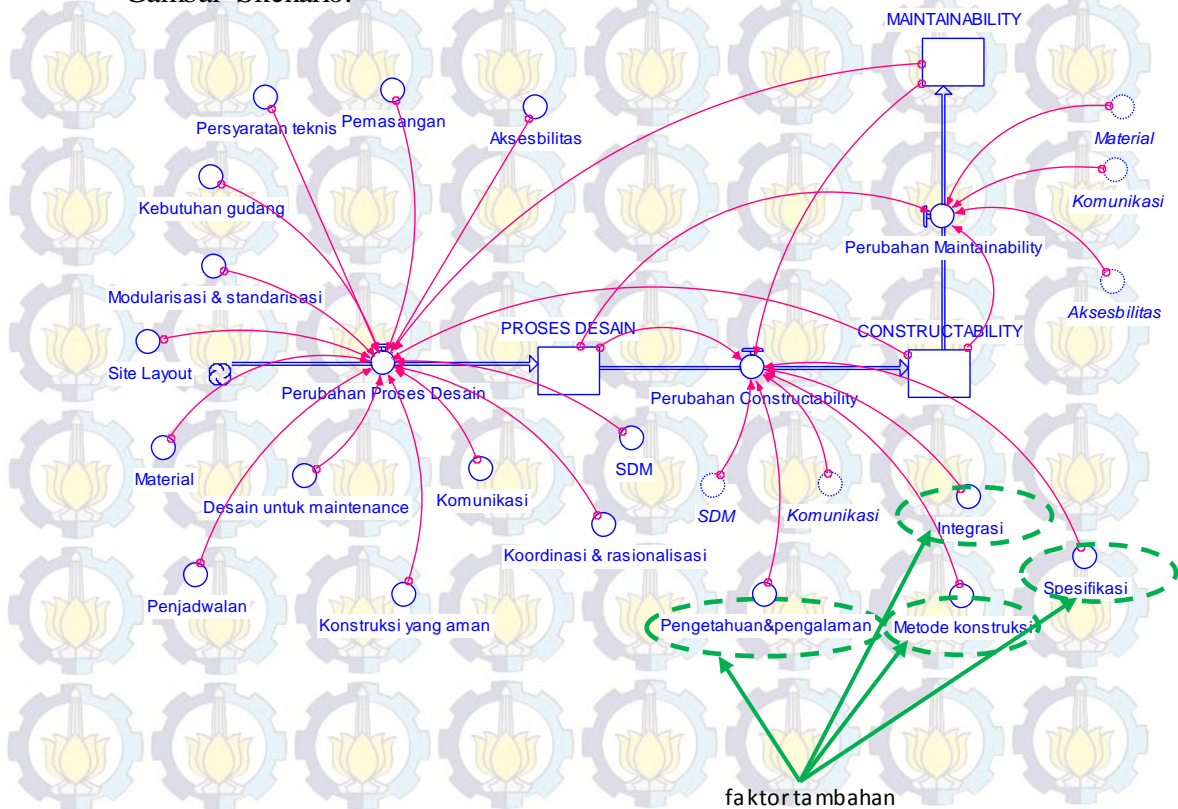
Gambar 4.20 Model Grafik Hubungan Skenario 4 terhadap Model Awal

Hasil simulasi menunjukkan *constructability* mengalami peningkatan apabila dibandingkan dengan model awal. Penambahan satu faktor yakni spesifikasi dapat memberikan peningkatan *constructability* sebesar 35.93% di bulan ke-18 pada masa pelaksanaan konstruksi. Hasil tersebut didapatkan dengan menghitung selisih antara hasil output pada bulan ke-18 pada model awal dan skenario 4, kemudian dicari nilai persentase selisihnya.

$$\text{Persentase perubahan skenario 4} = \frac{(157.73\% - 101.04\%)}{101.04\%} = 35.93\%$$

5. Skenario 5: Skenario pengembangan struktur dengan penambahan empat faktor yakni integrasi, pengetahuan dan pengalaman, metode konstruksi dan spesifikasi pada variabel *constructability*.

Gambar Skenario:



Gambar 4.21 Stock Flow Diagram Skenario 5

Cara: Data pada empat faktor yakni integrasi, pengetahuan dan pengalaman, metode konstruksi dan spesifikasi diolah bersama dengan data faktor SDM dan komunikasi. Dari data tersebut dilakukan pengolahan menggunakan normalisasi pembobotan dan teknik pengolahan data statistik yakni regresi linier berganda. Berikut persamaan untuk skenario 5:

$$X1 = (-0.848 + (0.007 * \text{SDM}) + (0.064 * \text{Komunikasi}) + (0.153 * \text{Integrasi}) + (0.249 * \text{Pengetahuan \& pengalaman}) + (0.357 * \text{Metode_konstruksi}) + (0.373 * \text{Spesifikasi})$$

Dimana,

X1 = Perubahan/penambahan *constructability*

SDM = Nilai pembobotan data faktor SDM

Komunikasi = Nilai pembobotan data faktor komunikasi

Integrasi = Nilai pembobotan data faktor integrasi

Pengetahuan

& pengalaman = Nilai pembobotan data faktor pengetahuan dan pengalaman

Metode

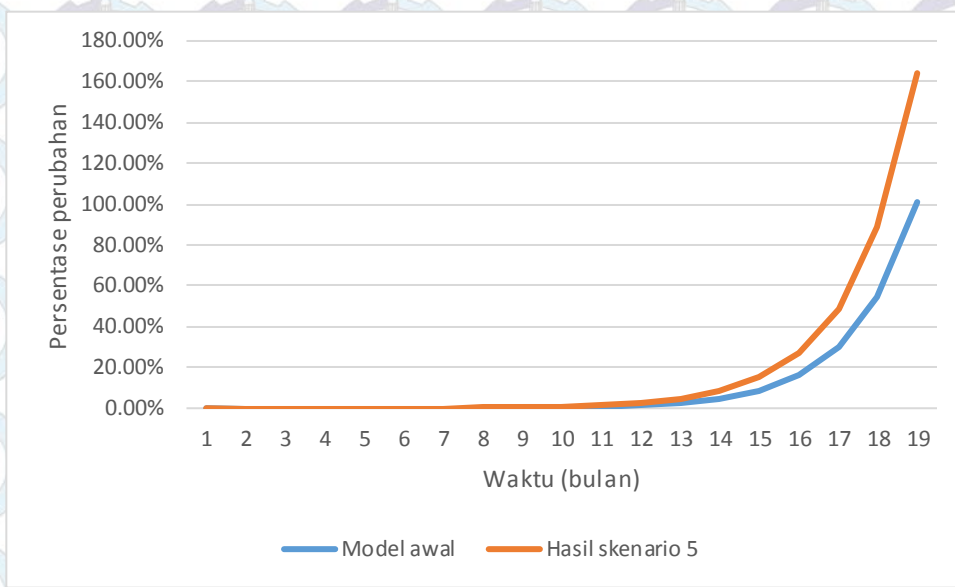
konstruksi = Nilai pembobotan data faktor metode konstruksi

Spesifikasi = Nilai pembobotan data faktor spesifikasi

Hasil:

Tabel 4.24 Hasil Simulasi Skenario 5

Month	Hasil Skenario 5	Hasil Simulasi Model Awal Constructability
0	0	0
1	0.0009%	0.0009%
2	0.004%	0.004%
3	0.01%	0.01%
4	0.03%	0.02%
5	0.06%	0.04%
6	0.10%	0.07%
7	0.19%	0.12%
8	0.37%	0.22%
9	0.69%	0.41%
10	1.28%	0.70%
11	2.32%	1.40%
12	4.37%	2.61%
13	8.84%	4.80%
14	15.33%	8.80%
15	27.43%	16.23%
16	48.52%	29.86%
17	89.10%	54.93%
Final	164.22%	101.04%



Gambar 4.22 Model Grafik Hubungan Skenario 5 terhadap Model Awal

Hasil simulasi menunjukkan *constructability* mengalami peningkatan apabila dibandingkan dengan model awal. Penambahan empat faktor yakni integrasi, pengetahuan dan pengalaman, metode konstruksi dan spesifikasi dapat memberikan peningkatan *constructability* sebesar 38.47% di bulan ke-18 pada masa pelaksanaan konstruksi. Hasil tersebut didapatkan dengan menghitung selisih antara hasil output pada bulan ke-18 pada model awal dan skenario 4, kemudian dicari nilai persentase selisihnya.

$$\text{Persentase perubahan skenario 5} = \frac{(164.22\% - 101.04\%)}{101.04\%} = 38.47\%$$

6. Skenario 6: Skenario pengembangan struktur dengan penambahan satu faktor yakni daya tahan pada variabel *maintainability*.

Cara: Data pada satu faktor yakni daya tahan diolah bersama dengan data faktor material, aksesibilitas dan komunikasi. Dari data tersebut dilakukan pengolahan menggunakan normalisasi pembobotan dan teknik pengolahan data statistik yakni regresi linier berganda. Berikut persamaan untuk skenario 6:

$$X2 = (2.15 - (0.025 * \text{Material}) + (0.054 * \text{Aksesibilitas}) - (0.037 * \text{Komunikasi}) + (0.511 * \text{Daya_tahan}))$$

Dimana,

$X2$ = Perubahan/penambahan *maintainability*

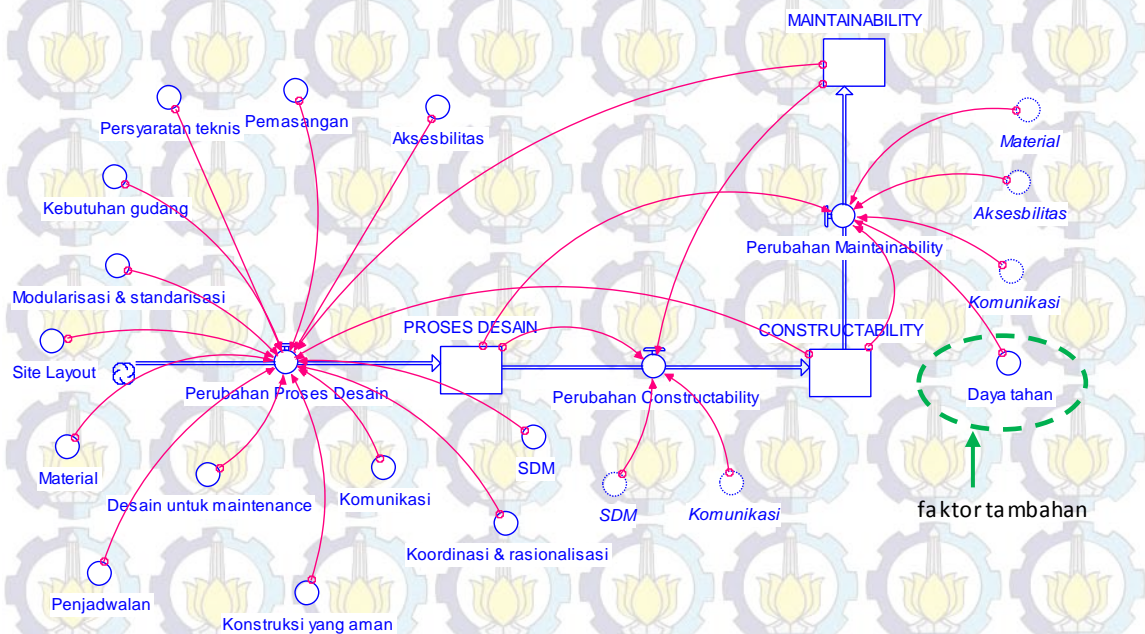
Material = Nilai pembobotan data faktor material

Aksesibilitas = Nilai pembobotan data faktor aksesibilitas

Komunikasi = Nilai pembobotan data faktor komunikasi

Daya tahan = Nilai pembobotan data faktor daya tahan

Gambar Skenario:



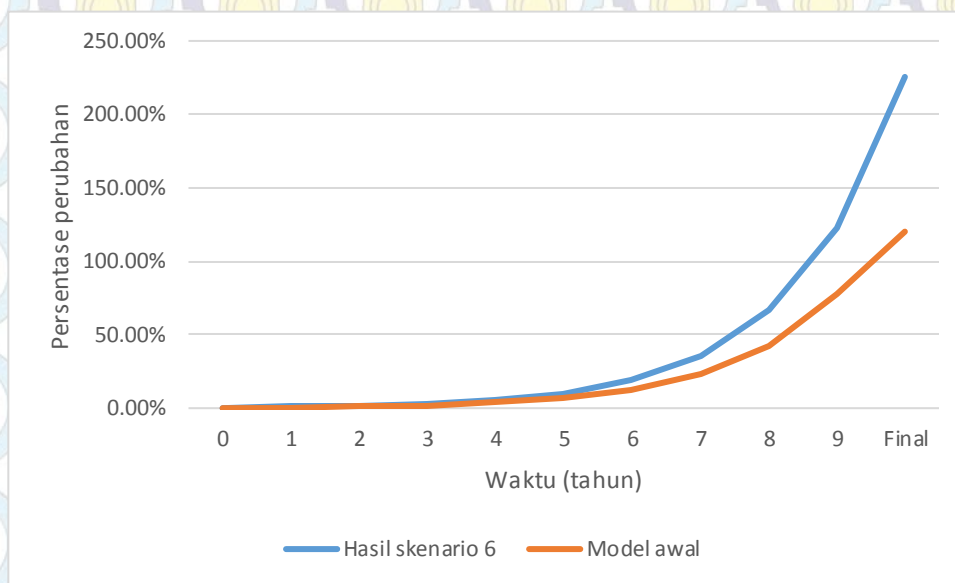
Gambar 4.23 Stock Flow Diagram Skenario 6

Hasil:

Tabel 4.25 Hasil Simulasi Skenario 6

Years	Hasil Skenario 6	Hasil Simulasi Model Awal Maintainability
0	0	0
1	1.0%	0.8%
2	1.7%	1.2%
3	3.1%	2.0%

Years	Hasil Skenario 6	Hasil Simulasi Model Awal Maintainability
4	5.8%	3.6%
5	10%	6.8%
6	19.6%	12.4%
7	36.2%	23.8%
8	66.6%	42.0%
9	122.6%	77.2%
Final	225.5%	120.19%



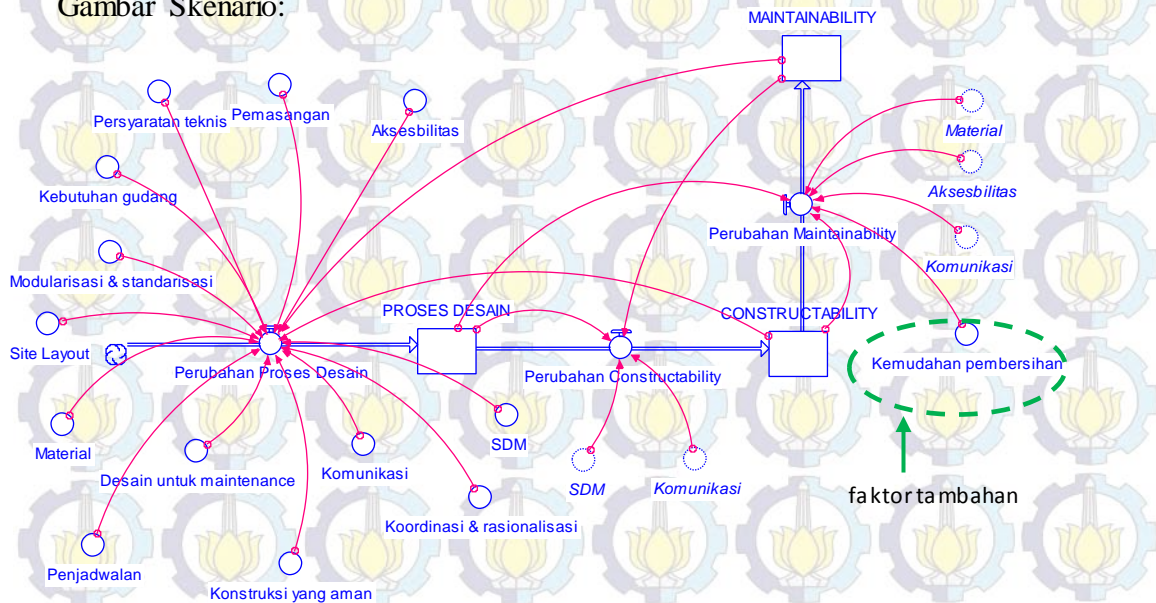
Gambar 4.24 Model Grafik Hubungan Skenario 6 terhadap Model Awal

Hasil simulasi menunjukkan *maintainability* mengalami peningkatan apabila dibandingkan dengan model awal. Penambahan satu faktor yakni daya tahan dapat memberikan peningkatan *maintainability* sebesar 46.7% di tahun ke-10 pada masa pemeliharaan bangunan. Hasil tersebut didapatkan dengan menghitung selisih antara hasil output pada tahun ke-10 pada model awal dan skenario 6, kemudian dicari nilai persentase selisihnya.

$$\text{Persentase perubahan skenario 6} = \frac{(225.5\% - 120.19\%)}{120.19\%} = 46.7\%$$

7. Skenario 7: Skenario pengembangan struktur dengan penambahan satu faktor yakni kemudahan pembersihan pada variabel *maintainability*.

Gambar Skenario:



Gambar 4.25 Stock Flow Diagram Skenario 7

Cara: Data pada satu faktor yakni kemudahan pembersihan diolah bersama dengan data faktor material, aksesibilitas dan komunikasi. Dari data tersebut dilakukan pengolahan menggunakan normalisasi pembobotan dan teknik pengolahan data statistik yakni regresi linier berganda. Berikut persamaan untuk skenario 7

$$X2 = 1.974 + (0.077 * \text{Material}) - (0.031 * \text{Aksesibilitas}) + (0.051 * \text{Komunikasi}) + (0.447 * \text{Kemudahan pembersihan})$$

Dimana,

$X2$ = Perubahan/penambahan *maintainability*

Material = Nilai pembobotan data faktor material

Aksesibilitas = Nilai pembobotan data faktor aksesibilitas

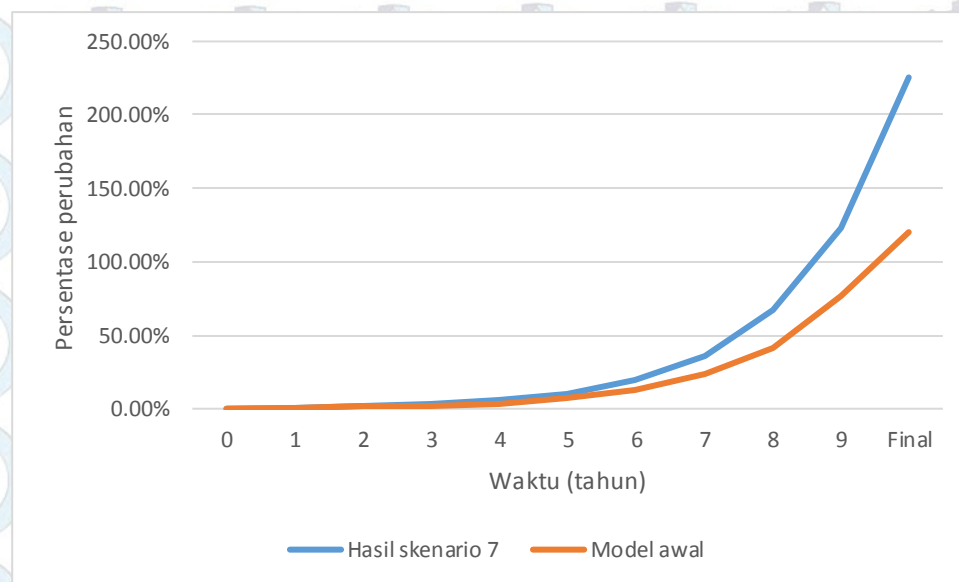
Komunikasi = Nilai pembobotan data faktor komunikasi

Kemudahan
pembersihan = Nilai pembobotan data faktor kemudahan pembersihan

Hasil:

Tabel 4.26 Hasil Simulasi Skenario 7

Years	Hasil Skenario 7	Hasil Simulasi Model Awal Maintainability
0	0	0
1	1.0%	0.8%
2	1.7%	1.2%
3	3.1%	2.0%
4	5.8%	3.6%
5	10%	6.8%
6	19.6%	12.4%
7	36.2%	23.8%
8	66.6%	42.0%
9	122.6%	77.2%
Final	225.5%	120.19%



Gambar 4.26 Model Grafik Hubungan Skenario 7 terhadap Model Awal

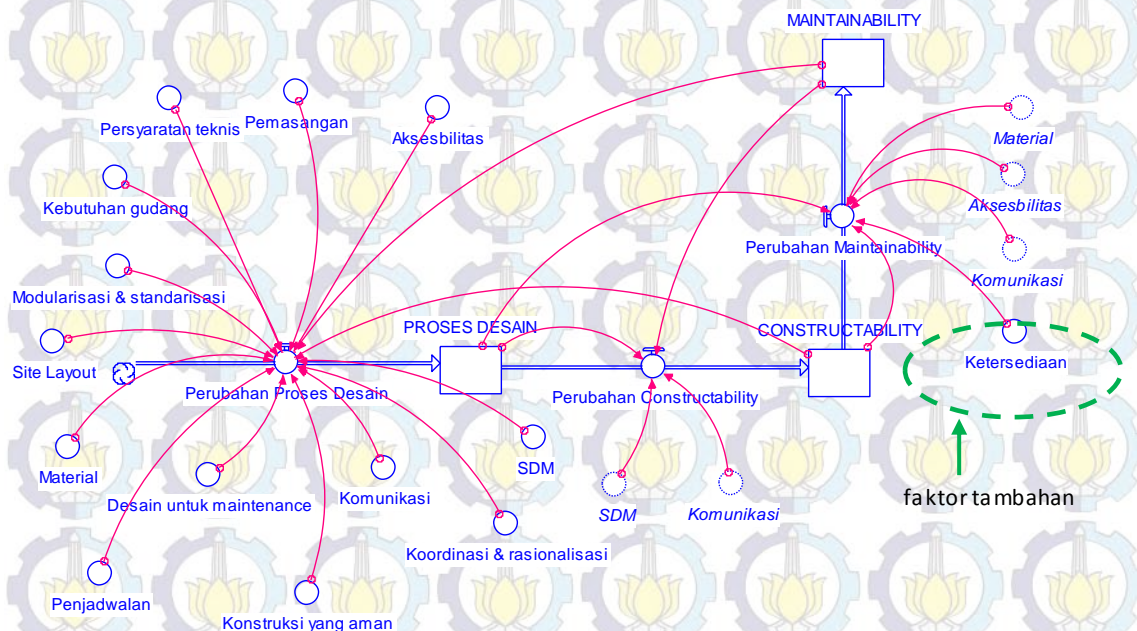
Hasil simulasi menunjukkan *maintainability* mengalami peningkatan apabila dibandingkan dengan model awal. Penambahan satu faktor yakni kemudahan

pembersihan dapat memberikan peningkatan *maintainability* sebesar 46.7% di tahun ke-10 pada masa pemeliharaan bangunan. Hasil tersebut didapatkan dengan menghitung selisih antara hasil output pada tahun ke-10 pada model awal dan skenario 7, kemudian dicari nilai persentase selisihnya.

$$\text{Persentase perubahan skenario 7} = \frac{(225.5\% - 120.19\%)}{225.5\%} = 46.7\%$$

8. Skenario 8: Skenario pengembangan struktur dengan penambahan satu faktor yakni ketersediaan pada variabel *maintainability*.

Gambar Skenario:



Gambar 4.27 Stock Flow Diagram Skenario 8

Cara: Data pada satu faktor yakni ketersediaan diolah bersama dengan data faktor material, aksesibilitas dan komunikasi. Dari data tersebut dilakukan pengolahan menggunakan normalisasi pembobotan dan teknik pengolahan data statistik yakni regresi linier berganda. Berikut persamaan untuk skenario 8

$$X_2 = 2.369 + (0.101 * \text{Material}) - (0.116 * \text{Aksesibilitas}) + (0.046 * \text{Ko-} \\ \text{munikasi}) + (0.441 * \text{Ketersediaan})$$

Dimana,

X2 = Perubahan/penambahan *maintainability*

Material = Nilai pembobotan data faktor material

Aksesibilitas = Nilai pembobotan data faktor aksesibilitas

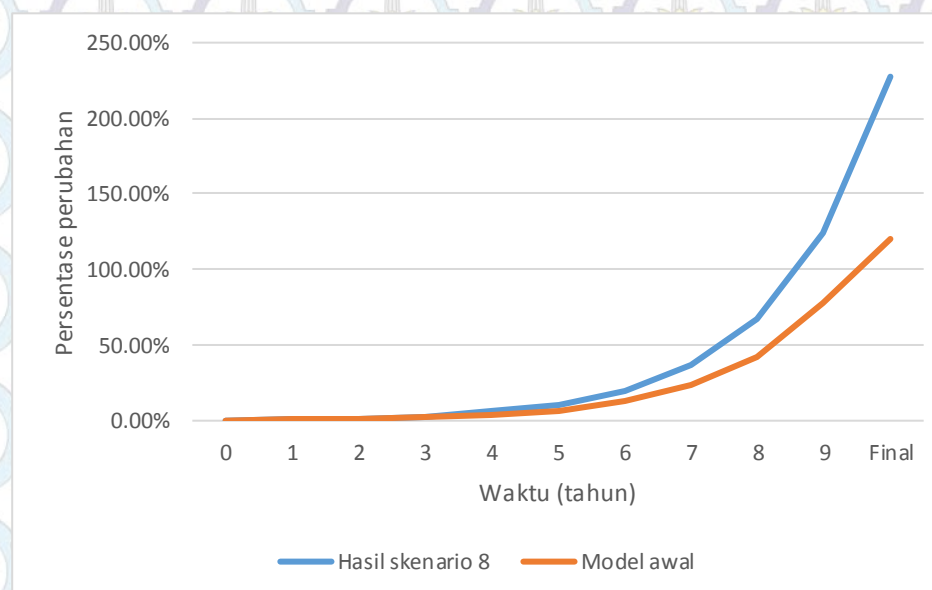
Komunikasi = Nilai pembobotan data faktor komunikasi

Ketersediaan = Nilai pembobotan data faktor ketersediaan

Hasil:

Tabel 4.27 Hasil Simulasi Skenario 8

Years	Hasil Skenario 8	Hasil Simulasi Model Awal Maintainability
0	0	0
1	1.0%	0.8%
2	1.7%	1.2%
3	3.1%	2.0%
4	5.9%	3.6%
5	10%	6.8%
6	19.8%	12.4%
7	36.5%	23.8%
8	67.2%	42.0%
9	123.7%	77.2%
Final	227.5%	120.19%



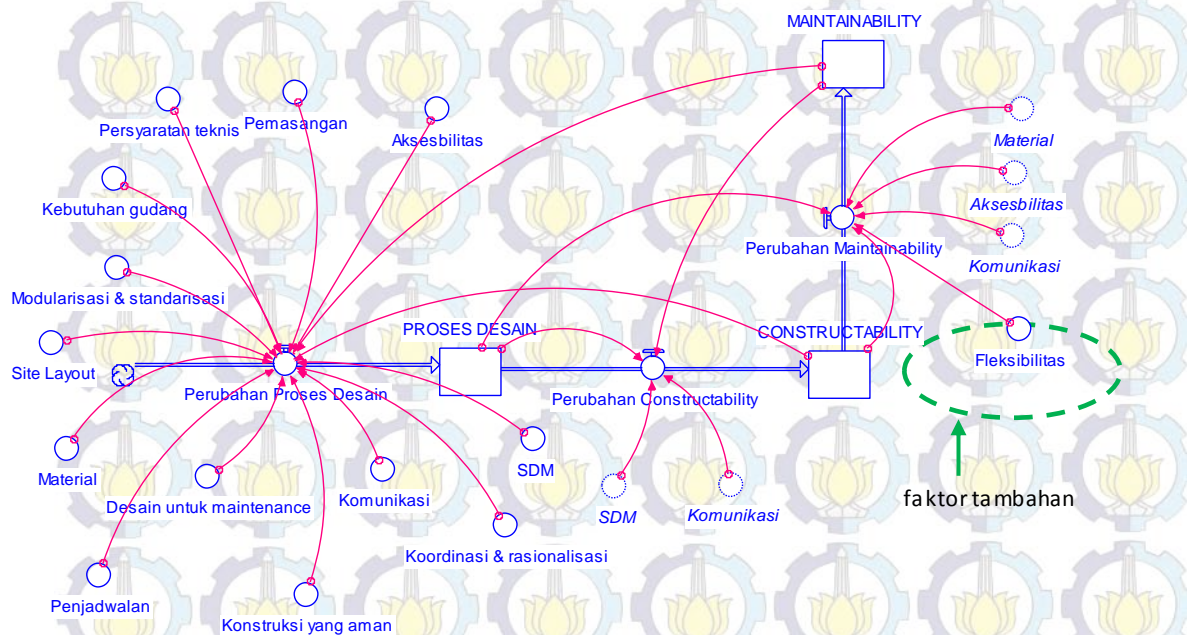
Gambar 4.28 Model Grafik Hubungan Skenario 8 terhadap Model Awal

Hasil simulasi menunjukkan *maintainability* mengalami peningkatan apabila dibandingkan dengan model awal. Penambahan satu faktor yakni ketersediaan dapat memberikan peningkatan *maintainability* sebesar 47.16% di tahun ke-10 pada masa pemeliharaan bangunan. Hasil tersebut didapatkan dengan menghitung selisih antara hasil output pada tahun ke-10 pada model awal dan skenario 8, kemudian dicari nilai persentase selisihnya.

$$\text{Persentase perubahan skenario 8} = \frac{(227.5\% - 120.19\%)}{227.5\%} = 47.16\%$$

9. Skenario 9: Skenario pengembangan struktur dengan penambahan satu faktor yakni fleksibilitas pada variabel *maintainability*.

Gambar Skenario:



Gambar 4.29 Stock Flow Diagram Skenario 9

Cara: Data pada satu faktor yakni fleksibilitas diolah bersama dengan data faktor material, aksesibilitas dan komunikasi. Dari data tersebut dilakukan pengolahan

menggunakan normalisasi pembobotan dan teknik pengolahan data statistik yakni regresi linier berganda. Berikut persamaan untuk skenario 9

$$X2 = (3.26 + (0.05 * \text{Material}) - (0.141 * \text{Aksesibilitas}) + (0.081 * \text{Komunikasi}) + (0.278 * \text{Fleksibilitas}))$$

Dimana,

X2 = Perubahan/penambahan *maintainability*

Material = Nilai pembobotan data faktor material

Aksesibilitas = Nilai pembobotan data faktor aksesibilitas

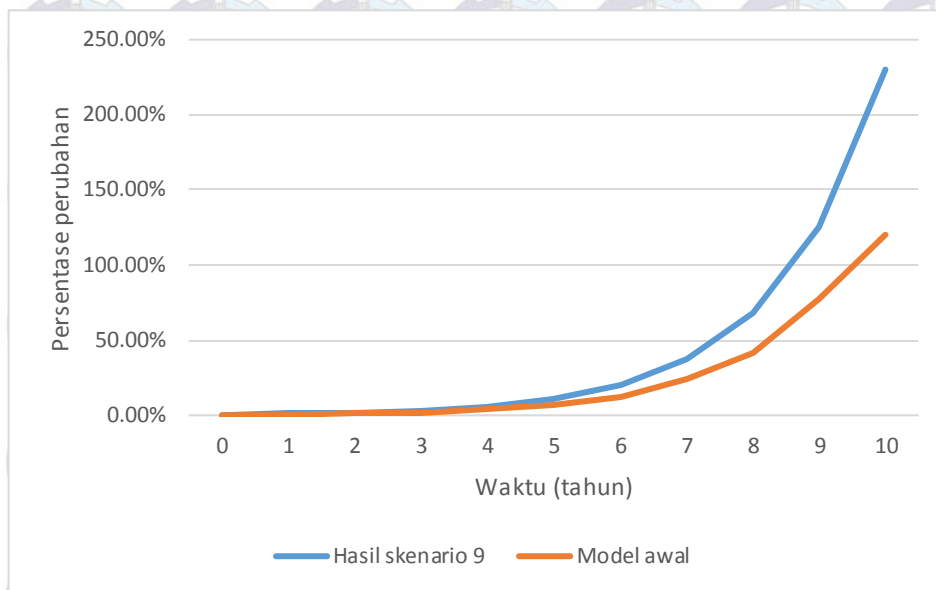
Komunikasi = Nilai pembobotan data faktor komunikasi

Fleksibilitas = Nilai pembobotan data faktor fleksibilitas

Hasil:

Tabel 4.28 Hasil Simulasi Skenario 9

Years	Hasil Skenario 9	Hasil Simulasi Model Awal Maintainability
0	0	0
1	1.1%	0.8%
2	1.8%	1.2%
3	3.2%	2.0%
4	6.0%	3.6%
5	10.9%	6.8%
6	20.1%	12.4%
7	37.0%	23.8%
8	68.0%	42.0%
9	125.1%	77.2%
10	230.1%	120.19%



Gambar 4.30 Model Grafik Hubungan Skenario 9 terhadap Model Awal

Hasil simulasi menunjukkan *maintainability* mengalami peningkatan apabila dibandingkan dengan model awal. Penambahan satu faktor yakni fleksibilitas dapat memberikan peningkatan *maintainability* sebesar 47.76% di tahun ke-10 pada masa pemeliharaan bangunan. Hasil tersebut didapatkan dengan menghitung selisih antara hasil output pada tahun ke-10 pada model awal dan skenario 9, kemudian dicari nilai persentase selisihnya.

$$\text{Persentase perubahan skenario 9} = \frac{(230.1\% - 120.19\%)}{230.1\%} = 47.76\%$$

10. Skenario 10: Skenario pengembangan struktur dengan penambahan satu faktor yakni identifikasi pada variabel *maintainability*.

Cara: Data pada satu faktor yakni identifikasi diolah bersama dengan data faktor material, aksesibilitas dan komunikasi. Dari data tersebut dilakukan pengolahan menggunakan normalisasi pembobotan dan teknik pengolahan data statistik yakni regresi linier berganda. Berikut persamaan untuk skenario 10

$$X_2 = 2.046 + (0.080 * \text{Material}) - (0.213 * \text{Aksesibilitas}) + (0.062 * K_o)$$

munikasi)+(0.612*Identifikasi)

Dimana,

X2 = Perubahan/penambahan *maintainability*

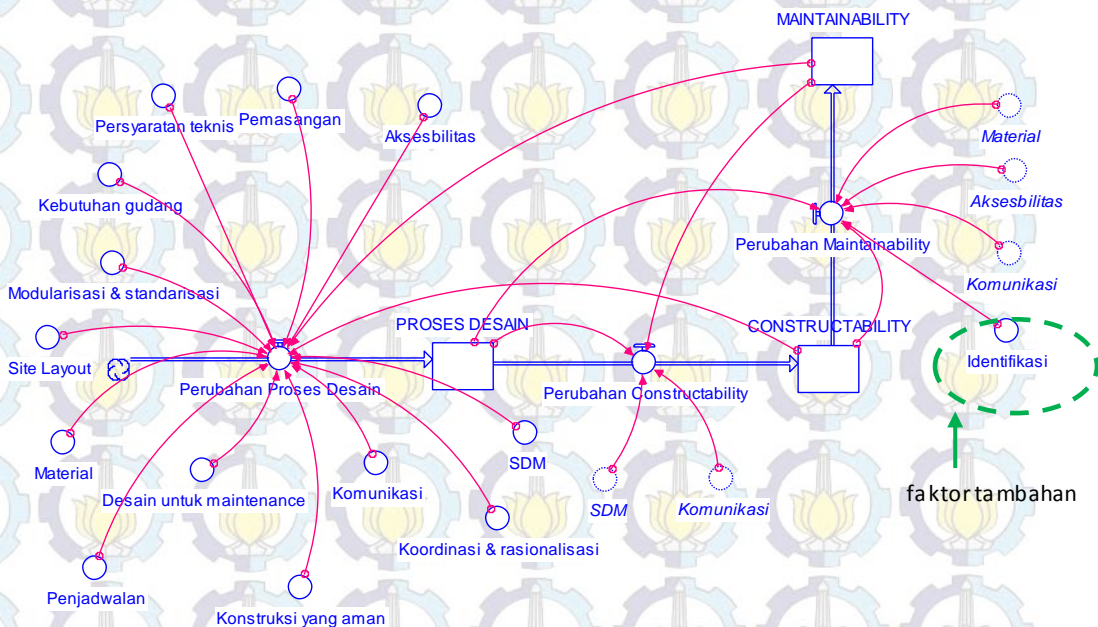
Material = Nilai pembobotan data faktor material

Aksesibilitas = Nilai pembobotan data faktor aksesibilitas

Komunikasi = Nilai pembobotan data faktor komunikasi

Identifikasi = Nilai pembobotan data faktor identifikasi

Gambar Skenario:



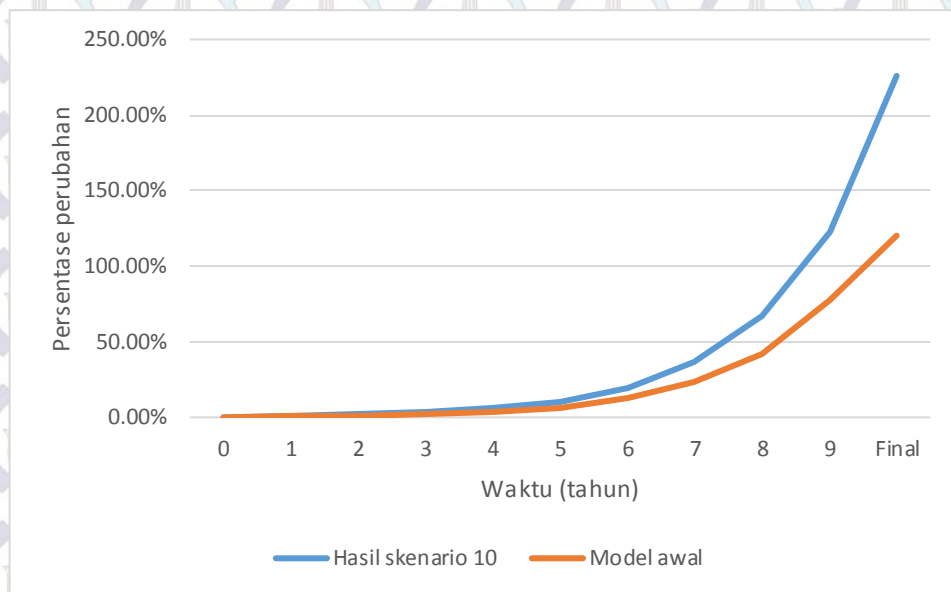
Gambar 4.31 Stock Flow Diagram Skenario 10

Hasil:

Tabel 4.29 Hasil Simulasi Skenario 10

Years	Hasil Skenario 10	Hasil Simulasi Model Awal Maintainability
0	0	0
1	1.0%	0.8%
2	1.7%	1.2%
3	3.1%	2.0%
4	5.8%	3.6%

Years	Hasil Skenario 10	Hasil Simulasi Model Awal Maintainability
5	10%	6.8%
6	19.7%	12.4%
7	36.3%	23.8%
8	66.7%	42.0%
9	122.8%	77.2%
Final	225.9%	120.19%



Gambar 4.32 Model Grafik Hubungan Skenario 10 terhadap Model Awal

Hasil simulasi menunjukkan *maintainability* mengalami peningkatan apabila dibandingkan dengan model awal. Penambahan satu faktor yakni identifikasi dapat memberikan peningkatan *maintainability* sebesar 46.79% di tahun ke-10 pada masa pemeliharaan bangunan. Hasil tersebut didapatkan dengan menghitung selisih antara hasil output pada tahun ke-10 pada model awal dan skenario 10, kemudian dicari nilai persentase selisihnya.

$$\text{Persentase perubahan skenario 10} = \frac{(225.9\% - 120.19\%)}{120.19\%} = 46.79\%$$

11. Skenario 11: Skenario pengembangan struktur dengan penambahan satu faktor yakni supplier pada variabel *maintainability*.

Cara: Data pada satu faktor yakni supplier diolah bersama dengan data faktor material, aksesibilitas dan komunikasi. Dari data tersebut dilakukan pengolahan menggunakan normalisasi pembobotan dan teknik pengolahan data statistik yakni regresi linier berganda. Berikut persamaan untuk skenario 11

$$X2 = 1.588 + (0.217 * \text{Material}) + (-0.175 * \text{Aksesibilitas}) + (0.081 * \text{Komunikasi}) + (0.524 * \text{Supplier})$$

Dimana,

$X2$ = Perubahan/penambahan *maintainability*

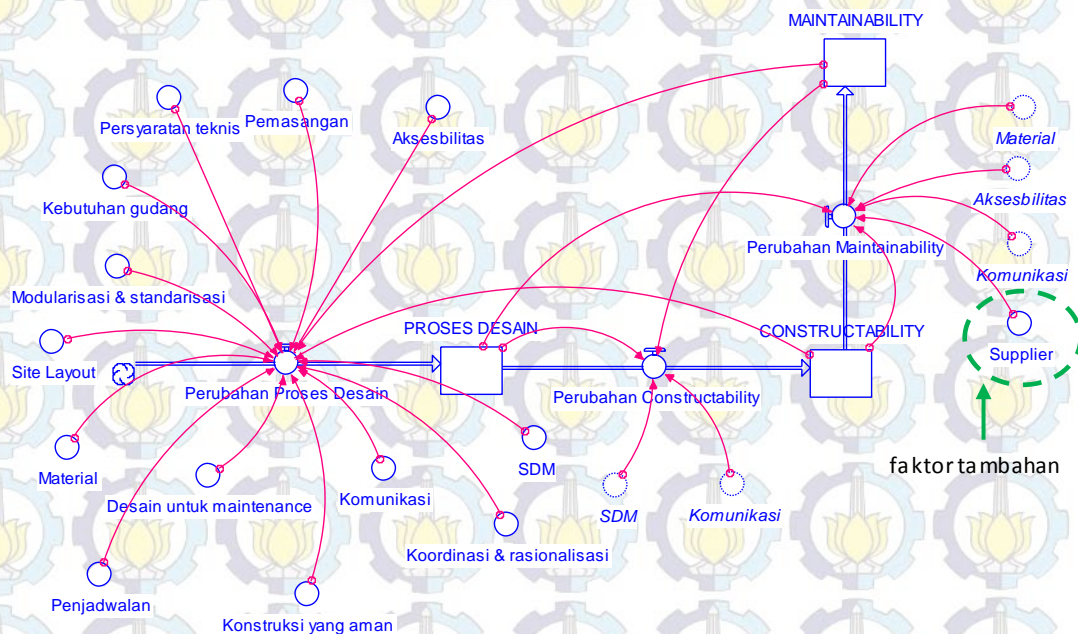
Material = Nilai pembobotan data faktor material

Aksesibilitas = Nilai pembobotan data faktor aksesibilitas

Komunikasi = Nilai pembobotan data faktor komunikasi

Supplier = Nilai pembobotan data faktor supplier

Gambar Skenario:

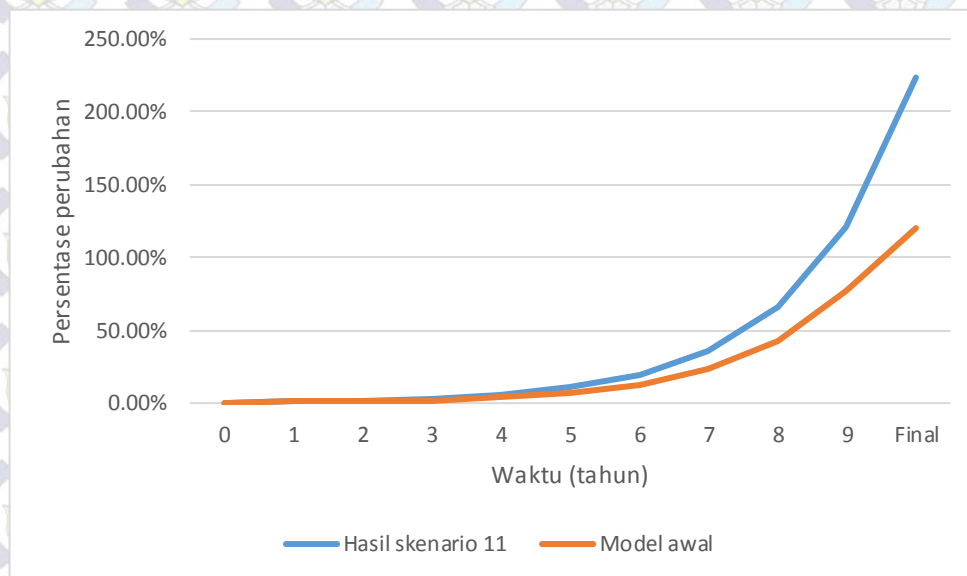


Gambar 4.33 Stock Flow Diagram Skenario 11

Hasil:

Tabel 4.30 Hasil Simulasi Skenario 11

Years	Hasil Skenario 11	Hasil Simulasi Model Awal Maintainability
0	0	0
1	0.9%	0.8%
2	1.6%	1.2%
3	3.0%	2.0%
4	5.7%	3.6%
5	10.5%	6.8%
6	19.5%	12.4%
7	35.9%	23.8%
8	66.0%	42.0%
9	121.5%	77.2%
Final	223.6%	120.19%



Gambar 4.34 Model Grafik Hubungan Skenario 11 terhadap Model Awal

Hasil simulasi menunjukkan *maintainability* mengalami peningkatan apabila dibandingkan dengan model awal. Penambahan satu faktor yakni supplier dapat memberikan peningkatan *maintainability* sebesar 46.24% di tahun ke-10 pada masa pemeliharaan bangunan. Hasil tersebut didapatkan dengan menghitung

selisih antara hasil output pada tahun ke-10 pada model awal dan skenario 11, kemudian dicari nilai persentase selisihnya.

$$\text{Persentase perubahan skenario 11} = \frac{(223.6\% - 120.19\%)}{223.6\%} = 46.24\%$$

12. Skenario 12: Skenario pengembangan struktur dengan penambahan enam faktor yakni daya tahan, kemudahan pembersihan, ketersediaan, aksesibilitas, identifikasi dan supplier pada variabel *maintainability*.

Cara: Data pada enam faktor yakni daya tahan, kemudahan pembersihan, ketersediaan, aksesibilitas, identifikasi dan supplier diolah bersama dengan data faktor material, aksesibilitas dan komunikasi. Dari data tersebut dilakukan pengolahan menggunakan normalisasi pembobotan dan teknik pengolahan data statistik yakni regresi linier berganda. Berikut persamaan untuk skenario 12

$$X2 = 0.337 + (0.072 * \text{Material}) - (0.151 * \text{Aksesibilitas}) + (0.03 * \text{Komunikasi}) + (0.184 * \text{Daya_tahan}) + (0.053 * \text{Kemudahan pembersihan}) + (0.076 * \text{Ketersediaan}) + (0.07 * \text{Fleksibilitas}) + (0.274 * \text{Identifikasi}) + (0.330 * \text{Supplier})$$

Dimana,

X2 = Perubahan/penambahan *maintainability*

Material = Nilai pembobotan data faktor material

Aksesibilitas = Nilai pembobotan data faktor aksesibilitas

Komunikasi = Nilai pembobotan data faktor komunikasi

Daya tahan = Nilai pembobotan data faktor daya tahan

Kemudahan pembersihan = Nilai pembobotan data faktor kemudahan pembersihan

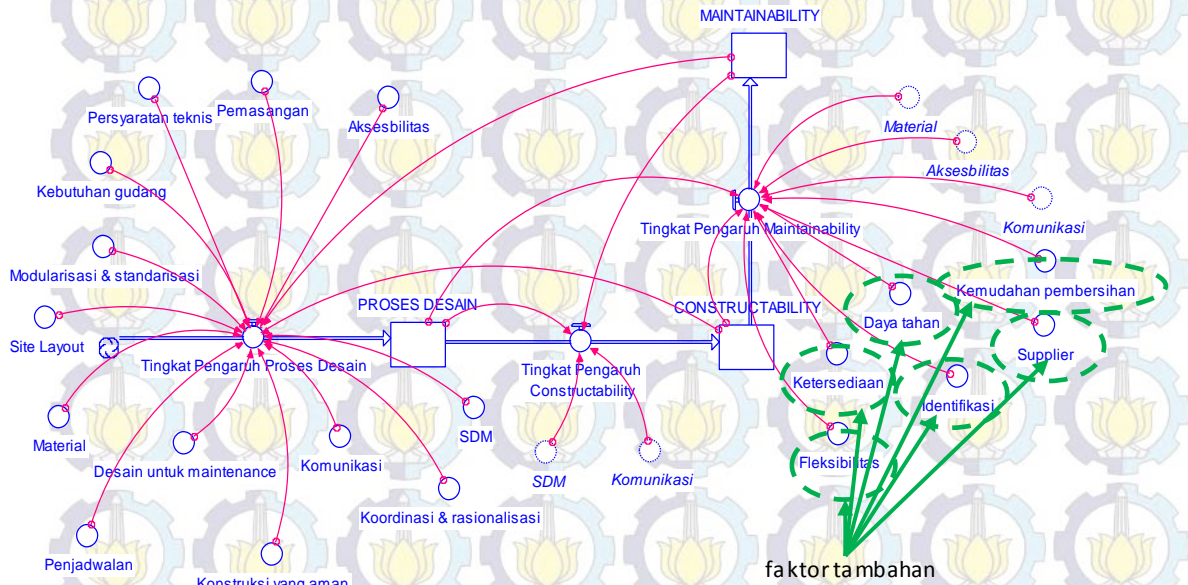
Ketersediaan = Nilai pembobotan data faktor ketersediaan

Aksesibilitas = Nilai pembobotan data faktor aksesibilitas

Identifikasi = Nilai pembobotan data faktor identifikasi

Supplier = Nilai pembobotan data faktor supli

Gambar Skenario:

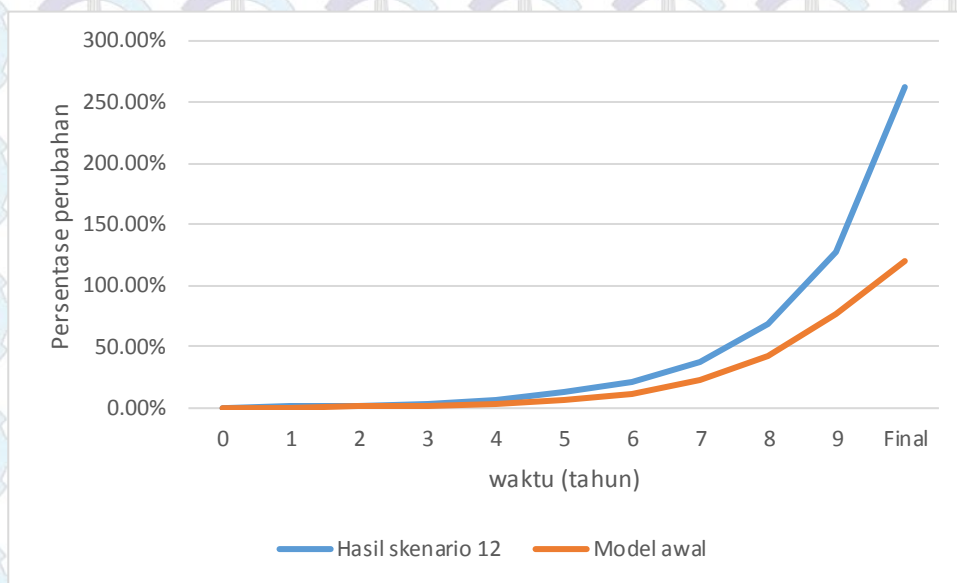


Gambar 4.35 Stock Flow Diagram Skenario 12

Hasil:

Tabel 4.31 Hasil Simulasi Skenario 12

Years	Hasil Skenario 12	Hasil Simulasi Model Awal Maintainability
0	0	0
1	1.3%	0.8%
2	1.8%	1.2%
3	3.5%	2.0%
4	6.2%	3.6%
5	13.0%	6.8%
6	22.1%	12.4%
7	38.2%	23.8%
8	68.5%	42.0%
9	127.5%	77.2%
Final	262.3%	120.19%



Gambar 4.36 Model Grafik Hubungan Skenario 12 terhadap Model Awal

Hasil simulasi menunjukkan *maintainability* mengalami peningkatan apabila dibandingkan dengan model awal. Penambahan enam faktor yakni daya tahan, kemudahan pelaksanaam, ketersediaan, fleksibilitas, identifikasi dan supplier dapat memberikan peningkatan *maintainability* sebesar 54.17% di tahun ke-10 pada masa pemeliharaan bangunan. Hasil tersebut didapatkan dengan menghitung selisih antara hasil output pada tahun ke-10 pada model awal dan skenario 12, kemudian dicari nilai persentase selisihnya.

$$\text{Persentase perubahan skenario 12} = \frac{(262.3\% - 120.19\%)}{120.19\%} = 54.17\%$$

Setelah tahapan analisis dan simulasi terhadap 12 skenario pengembangan struktur. Maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.32 dan Tabel 4.33.

Tabel 4.32 Rekapitulasi Skenario Pengembangan Struktur terhadap *Constructability*

Month	Hasil Skenario 1	Hasil Skenario 2	Hasil Skenario 3	Hasil Skenario 4	Hasil Skenario 5
0	0	0	0	0	0
1	0.00011%	0.0009%	0.0009%	0.0009%	0.0009%
2	0.009%	0.004%	0.004%	0.01%	0.004%
3	0.01%	0.01%	0.0001	0.01%	0.01%
4	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%
5	0.06%	0.06%	0.05%	0.05%	0.06%
6	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%
7	0.19%	0.19%	0.18%	0.19%	0.19%
8	0.35%	0.36%	0.34%	0.35%	0.37%
9	0.65%	0.67%	0.63%	0.65%	0.69%
10	0.12%	1.24%	0.11%	1.20%	1.28%
11	2.23%	2.29%	2.15%	2.21%	2.32%
12	4.10%	4.21%	3.97%	4.07%	4.37%
13	7.54%	7.75%	7.30%	7.49%	8.84%
14	13.80%	14.27%	13.44%	13.78%	15.33%
15	25.53%	26.24%	24.72%	25.34%	27.43%
16	46.96%	48.27%	45.47%	46.62%	48.52%
17	86.38%	88.79%	83.64%	85.75%	89.10%
Final	158.80%	163.31%	153.85%	157.73%	164.22%

Berdasarkan hasil rekapitulasi dari masing-masing skenario pengembangan struktur terhadap *constructability* pada Tabel 4.32 menunjukkan pola/tren yang meningkat. Pada skenario 1-5 yang hasil peningkatan *constructability* yang paling signifikan ditunjukkan oleh skenario 5. Skenario 5 dilakukan penggabungan terhadap 4 faktor yang mempengaruhi *constructability*.

Tabel 4.33 Rekapitulasi Skenario Pengembangan Struktur terhadap *Maintainability*

Years	Hasil Skenario 6	Hasil Skenario 7	Hasil Skenario 8	Hasil Skenario 9	Hasil Skenario 10	Hasil Skenario 11	Hasil Skenario 12
0	0	0	0	0	0	0	0
1	1.0%	1.0%	1.0%	1.1%	1.0%	0.9%	1.3%
2	1.7%	1.7%	1.7%	1.8%	1.7%	1.6%	1.8%
3	3.1%	3.1%	3.1%	3.2%	3.1%	3.0%	3.5%
4	5.8%	5.8%	5.9%	6.0%	5.8%	5.7%	6.2%
5	10%	10%	10%	10.9%	10%	10.5%	13.0%
6	19.6%	19.6%	19.8%	20.1%	19.7%	19.5%	22.1%
7	36.2%	36.2%	36.5%	37.0%	36.3%	35.9%	38.2%
8	66.6%	66.6%	67.2%	68.0%	66.7%	66.0%	68.5%
9	122.6%	122.6%	123.7%	125.1%	122.8%	121.5%	127.5%
Final	225.5%	225.5%	227.5%	230.1%	225.9%	223.6%	262.3%

Berdasarkan hasil rekapitulasi dari masing-masing skenario pengembangan struktur terhadap *maintainability* pada Tabel 4.33 menunjukkan pola/tren yang meningkat. Pada skenario 6-12 yang hasil peningkatan *maintainability* yang paling signifikan ditunjukkan oleh skenario 12. Skenario 12 dilakukan penggabungan terhadap 6 faktor yang mempengaruhi *maintainability*.

4.12. Diskusi dan Pembahasan

Responden pada penelitian ini berjumlah 32 orang yang terdiri dari kepala perencanaan dan beberapa staff ahli perencanaan di konsultan perencana. Hal tersebut dikarenakan konsultan perencana juga terlibat dalam pengawasan, rapat koordinasi pelaksanaan pada proyek dan melakukan pengontrolan di lapangan. Maka dapat disimpulkan pihak konsultan perencana mengetahui dan memahami mengenai penerapan konsep *constructability* di lapangan pada saat pelaksanaan. Pada tahapan perencanaan sebuah proyek owner juga terlibat dari awal. Wakil dari owner pada rapat untuk merencanakan sebuah proyek mengetahui dan memahami faktor apa sajakah yang berpengaruh dan dapat meningkatkan *maintainability*. Pihak dari konsultan perencana pada saat penyusunan desain akan selalu

mengkomunikasikan keseluruhan yang terjadi pada proyek kepada owner. Maka dapat disimpulkan pihak dari konsultan perencana memahami faktor apa sajakah yang harus dilakukan untuk dapat meningkatkan *maintainability*.

Berdasarkan hasil simulasi model awal terhadap *constructability* pada bulan awal, satu, dua, tiga, empat, lima sampai bulan ke-18 mengalami peningkatan. Adapun hasil maksimum terjadi pada bulan ke-18 dimana besarnya peningkatan yang terjadi sebesar 101.04% (lihat Tabel 4.11). Berdasarkan hasil wawancara dengan *expert* (*site engineering manager* dan *project production manager*) di bidang pelaksanaan proyek bangunan gedung *high rise*. Proses desain yang baik dapat mempengaruhi *constructability* sebesar 83%. Sehingga berdasarkan data hasil wawancara dan simulasi model awal didapatkan tingkat akurasi prediksi terhadap model sebesar 78.3%. Contoh aktual proses desain mempengaruhi kemudahan dalam pelaksanaan yakni seperti berikut. Pertama, apabila dalam proses desain menghasilkan desain bentukan bangunan bangunan yang sederhana dengan sedikit bentuk lengkung. Hal tersebut mampu memudahkan pelaksanaan di lapangan. Kedua, luasan lahan kosong atau site yang akan dirancang juga mempengaruhi kemudahan pelaksanaan. Semakin luas lahan semakin tinggi fleksibilitas dalam mendesain. Ketiga, adanya komunikasi yang baik seperti melakukan evaluasi berkala, dokumentasi baik dalam bentuk catatan maupun foto mempengaruhi kemudahan pelaksanaan. Hal tersebut berkenaan dengan kemudahan mendeteksi kesalahan-kesalahan yang terjadi pada proyek. Sehingga segera dilakukan perbaikan dan tidak terjadi kesalahan yang sama. Contoh aktualnya adalah pembuatan kolom dengan metode cast in site memakan waktu yang lama. Kemudian setelah dilakukan evaluasi dan diputuskan untuk menggunakan kolom precast. Hal tersebut memudahkan pelaksanaan dan waktu pelaksanaan dapat lebih cepat. Keempat, gambar pada desain juga harus dikerjakan dengan detail. Hal tersebut berpengaruh pada pelaksanaan. Apabila desain tidak dibuat dengan detail pihak pelaksana atau kontraktor harus melakukan improvisasi sendiri terhadap gambar desain dan hal tersebut dapat menghambat kerja di lapangan saat pelaksanaan.

Sementara simulasi model awal terhadap *maintainability* pada tahun awal, satu, dua, tiga, empat, lima sampai tahun ke-10 mengalami peningkatan. Adapun

hasil maksimum terjadi pada tahun ke 10. Dimana besarnya peningkatan yang terjadi pada tahun ke-10 sebesar 120.19% (lihat Tabel 4.12). Berdasarkan hasil wawancara dengan *expert (construction manager in property firm dan operational manager in property firm)* di perusahaan properti pada proyek bangunan gedung *high rise*. Proses desain yang baik dapat mempengaruhi *maintainability* sebesar 90%. Sehingga berdasarkan data hasil wawancara dan simulasi model awal didapatkan tingkat akurasi prediksi terhadap model sebesar 66.5%. Contoh aktual proses desain mempengaruhi *maintainability* atau kemudahan dalam pemeliharaan bangunan adalah sebagai berikut. Pertama, pada bangunan apartemen desain untuk plumbing dibuat masuk ke shaf bangunan. Sehingga apabila terjadi kebocoran tidak langsung mengenai lantai di bawahnya dan mempengaruhi unit lainnya. Kedua, fleksibilitas pada saat pemeliharaan bangunan dapat dicapai dengan beberapa hal. Misalnya penggunaan gondola untuk pembersihan, pengecatan dan pemeliharaan bangunan mampu memberikan efisiensi sehingga tercapai fleksibilitas dalam bekerja karena tidak perlu menggunakan scaffolding untuk melakukannya. Ketiga, desain yang dibuat harus efisien, saling terpadu agar menghasilkan desain yang mudah untuk dilaksanakan dan dipelihara. Dalam pemeliharaan bangunan juga harus memperhatikan standar prosedur pemeliharaan bangunan untuk masing-masing jenis bangunan.

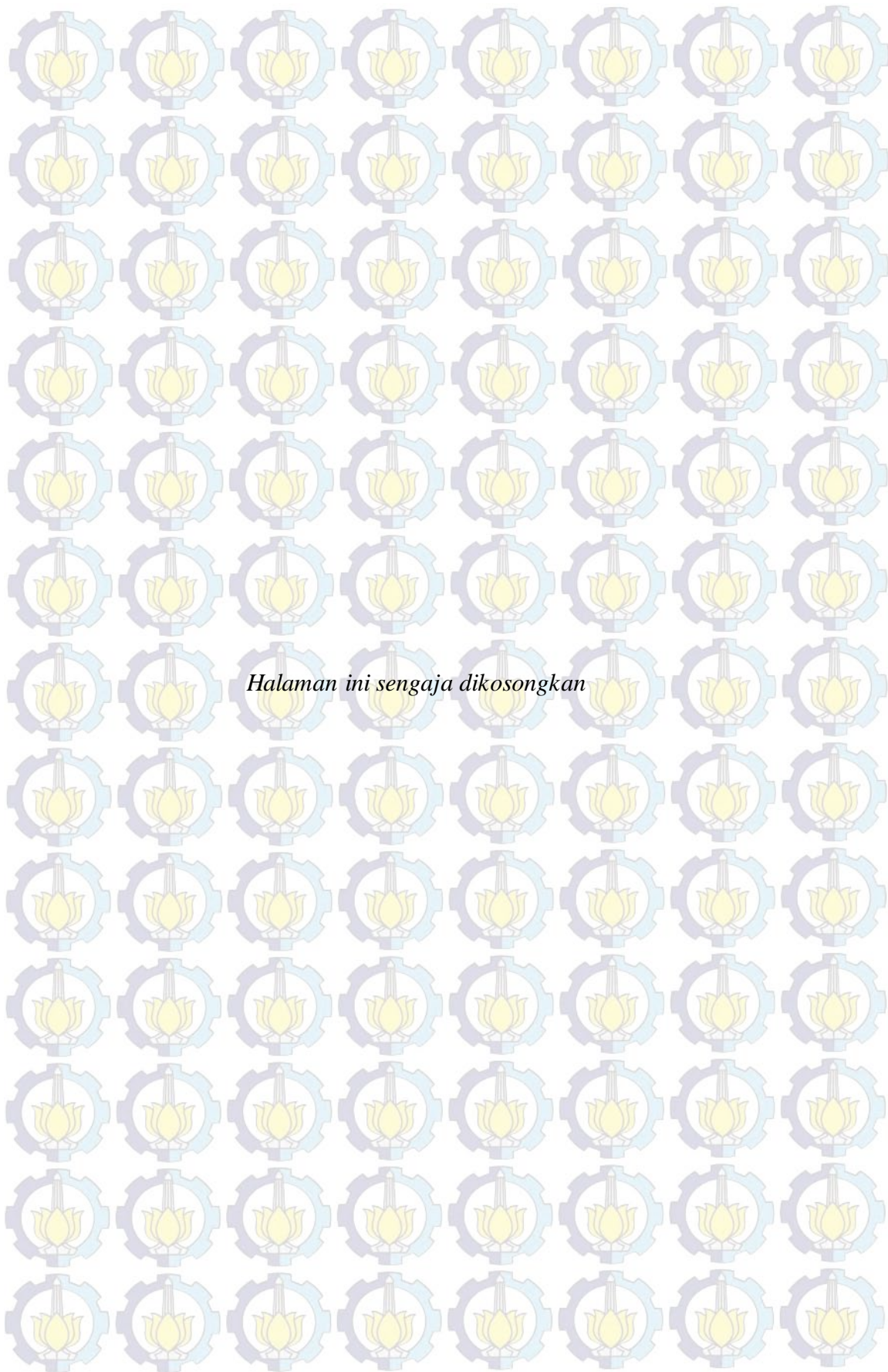
Berdasarkan hasil skenario parameter yang dilakukan. Pengintegrasian proses desain dan *constructability* memiliki dampak yang paling signifikan terhadap *maintainability* dengan persentase perubahan atau peningkatannya 69.6% dibandingkan model awal. Contoh aktual mengenai integrasi proses desain dan *constructability* terhadap *maintainability* adalah sebagai berikut. Pertama, perencanaan penggunaan komponen bangunan yang prefabriksi pada desain. Pada pelaksanaannya, pemasangan komponen tersebut dikaitkan dengan menggunakan baut, tidak dengan teknik pengelasan. Hal tersebut memudahkan jika suatu saat terjadi penggantian dapat mudah dilakukan hanya dengan melepas baut tersebut. Kedua, merencanakan menggunakan material sesuai dan mudah perawatannya untuk menempel lantai parquet pada apartemen. Pada pelaksanaannya, memilih menggunakan lem vinyl tidak menggunakan lem permanen. Karena jika terjadi penggantian pada masa pemeliharaan. Lem vinyl lebih mudah untuk dibersihkan

dan dilepas dibandingkan lem permanen. Ketiga, perencanaan penggunaan komponen yang modular seperti plafon. Pada pelaksanaannya menggunakan plafon yang berukuran kecil misalnya berukuran 1m x 1m dan menghindari penggunaan plafon yang besar ukuran ruangan. Hal tersebut memudahkan apabila terjadi kerusakan penggantian hanya satu modul saja tidak perlu diganti seluruhnya.

Skenario struktur yang dilakukan pada penelitian ini dibagi menjadi dua. Yakni untuk melihat dampaknya terhadap *constructability* dan yang kedua terhadap *maintainability*. Skenario struktur yang digunakan untuk melihat dampaknya terhadap *constructability* menunjukkan bahwa skenario yang memiliki dampak paling signifikan adalah skenario yang menggabungkan ke empat faktor yang dapat meningkatkan *constructability*. Dengan persentase perubahan atau peningkatan sebesar 38.47% dari model awal. Sedangkan untuk skenario masing-masing faktor memiliki pengaruh terhadap *constructability* dengan persentase perubahan atau peningkatan sebagai berikut. Pertama, faktor pengetahuan dan pengalaman konstruksi dengan persentase peningkatan terhadap *constructability* sebesar 38.12% dari model awal. Kedua, faktor integrasi dengan persentase peningkatan terhadap *constructability* sebesar 36.37% dari model awal. Ketiga, faktor spesifikasi dengan persentase peningkatan terhadap *constructability* sebesar 35.93% dari model awal. Keempat, faktor spesifikasi dengan persentase peningkatan terhadap *constructability* sebesar 34.24% dari model awal.

Sementara skenario struktur yang digunakan untuk melihat dampaknya terhadap *maintainability* yang memiliki dampak paling signifikan adalah skenario yang menggabungkan ke enam faktor yang dapat meningkatkan *maintainability*. Dengan persentase perubahan atau peningkatan sebesar 54.17% dari model awal. Sedangkan untuk skenario masing-masing faktor memiliki pengaruh terhadap *maintainability* dengan persentase perubahan atau peningkatan sebagai berikut. Pertama, faktor fleksibilitas dengan persentase peningkatan terhadap *maintainability* sebesar 47.76% dari model awal. Kedua, faktor ketersediaan dengan persentase peningkatan terhadap *maintainability* sebesar 47.16% dari model awal. Ketiga, faktor daya tahan dengan persentase peningkatan terhadap *maintainability* sebesar 46.7% dari model awal. Keempat, faktor identifikasi dengan persentase peningkatan terhadap *maintainability* sebesar 46.79% dari

model awal. Kelima, faktor kemudahan pembersihan dengan persentase peningkatan terhadap *maintainability* sebesar 46.7% dari model awal. Keenam, faktor supplier dengan persentase peningkatan terhadap *maintainability* sebesar 46.24% dari model awal.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan maka terdapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Terdapat 13 faktor dari variabel proses desain . Faktor yang paling signifikan mempengaruhi proses desain adalah investigasi site layout sebelum melakukan proses desain, melakukan koordinasi gambar serta spesifikasi yang digunakan dan mempertimbangkan ukuran dan berat material sehingga aman untuk tahapan pelaksanaan di lapangan.
2. Tren atau kecenderungan dari faktor-faktor proses desain yang mempengaruhi *constructability* yang didapat pada penelitian ini yaitu meningkat dari bulan pertama sampai bulan ke-18. Sama halnya dengan faktor-faktor proses desain yang mempengaruhi *maintainability* juga meningkat dari tahun pertama sampai tahun ke-10.
3. Berdasarkan data hasil wawancara dengan *expert* dan simulasi model awal didapatkan tingkat akurasi prediksi terhadap model dari hubungan proses desain terhadap *constructability* sebesar 78.3%. Sedangkan tingkat akurasi prediksi terhadap model dari hubungan proses desain terhadap *maintainability* sebesar 66.5%.
4. Berdasarkan hasil skenario parameter, pengintegrasian proses desain dan *constructability* memiliki dampak yang paling signifikan terhadap *maintainability* dengan persentase perubahan atau peningkatannya 69.6% dibandingkan model awal.
5. Berdasarkan hasil skenario struktur yang dilakukan terhadap *constructability*, skenario yang memiliki dampak paling signifikan adalah dengan menggabungkan ke empat faktor yang dapat meningkatkan *constructability*. Dengan persentase perubahan atau peningkatan sebesar 38.47% dari model awal. Sementara itu skenario struktur yang dilakukan terhadap *maintainability*, skenario yang memiliki dampak paling signifikan adalah dengan

menggabungkan ke enam faktor yang dapat meningkatkan *maintainability*. Dengan persentase perubahan atau peningkatan sebesar 54.17% dari model awal.

5.2. Saran

Berdasarkan analisa data dan pembahasan penelitian ini terdapat beberapa saran yang dapat diberikan dalam rangka pengembangan dari penelitian dan hal yang masih perlu diperbaiki sehingga dapat bermanfaat bagi penelitian selanjutnya maupun pihak yang terkait. Saran yang diajukan oleh penelitian ini adalah sebagai berikut :

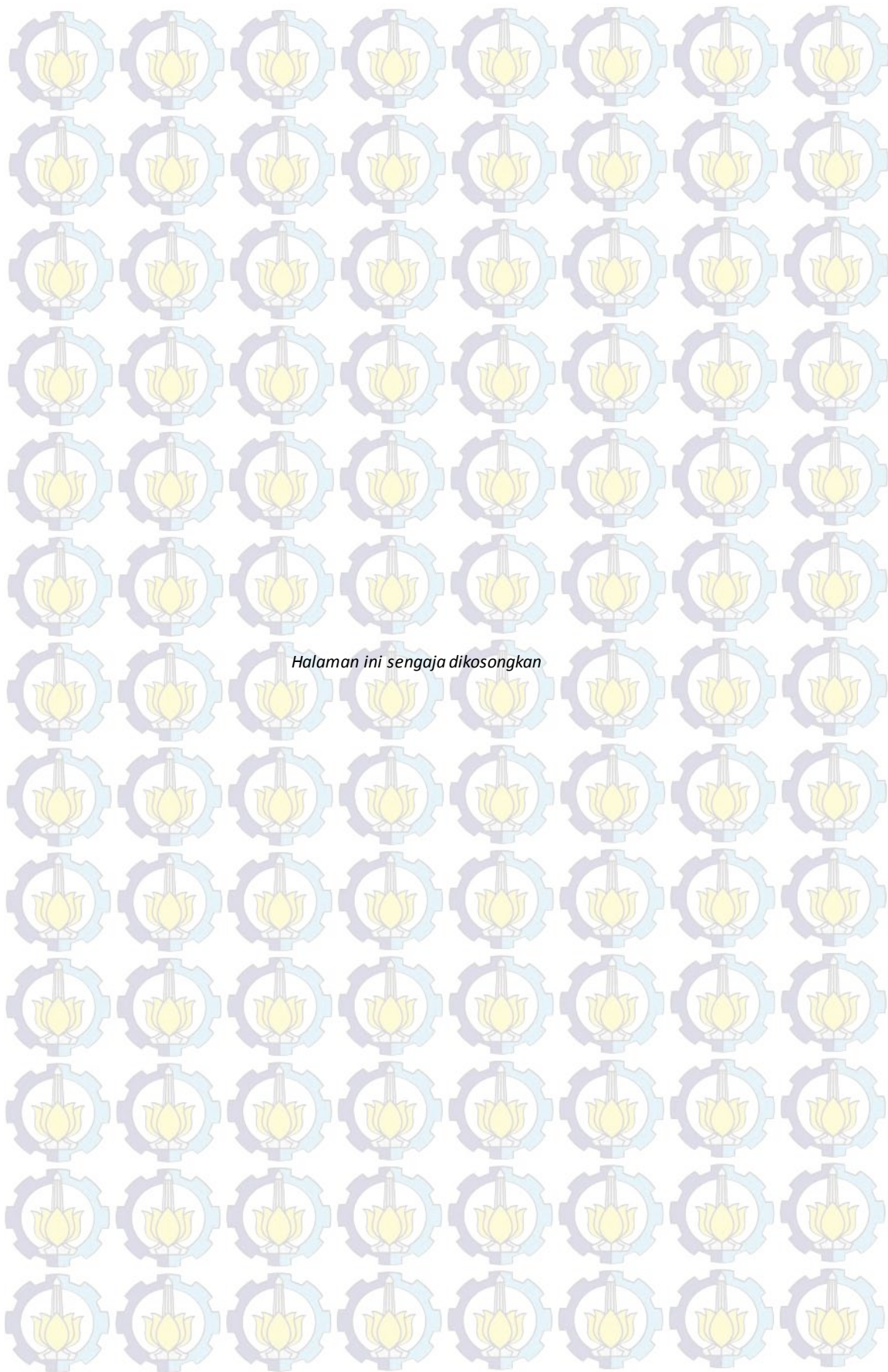
1. Penelitian selanjutnya dapat melanjutkan untuk melakukan penelitian terhadap hubungan antar variabel untuk peningkatan *constructability* dan *maintainability* berdasarkan data empiris di lapangan.
2. Pihak konsultan perencana mempertimbangkan hasil skenario yang dilakukan baik skenario parameter maupun skenario struktur untuk dapat meningkatkan *constructability* dan *maintainability* pada tahapan awal proyek yakni di tahapan perencanaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adianto, Y., Tirta, D.G., Linna. (2006), “ Studi Pemahaman dan Penerapan Constructability Kontraktor di Bandung”, *Jurnal Teknik Sipil*, Vol.7, No.1, hal. 27-39.
- Akers, D.J dkk. (2000), “Building Design and Construction Handbook”, eds. Merrit, F.S, dan Ricketts, J.T, McGraw-Hill, New York, hal.1.2-1.5.
- Akpan, E.O.P., Amade, B., Okangba, S. E., dan Ekweozor, C. O. (2014),”Constructability practice and project delivery processes in the Nigerian Construction Industry”, *Journal of Building Performance*, Vol. 5, Issue 1.
- Alinaitwe, Henry., Nyamutale, William dan Tindiwensi, Dan. (2014), “ Design Phase Constructability Improvement Strategies for Highway Projects in Uganda”, *Journal of Construction in Developing Countries*, Vol. 19, No.1, hal. 127-140.
- Al-Hammad, A., Assaf, S. dan Al-Shihah, M. (1997). “The Effect of Faulty Design on Building Maintenance”, *J. Qual. Maint. Eng*, Vol.3, No.1, hal. 29–39.
- Arditi, D. dan Nawakorawit, M. (1999a). “Designing Buildings for Maintenance: Designer’s perspective”, *J. Archit. Eng.*, Vol. 5, No. 4, hal. 107–116.
- Arditi, D. dan Nawakorawit, M. (1999b). “Issues in Building Maintenance: Property Manager’s Perspective”. *J. Archit. Eng.*, Vol. 5, No.4, hal. 117–132.
- Assaf, S., Al-Hammad, A. dan Al-Shihah, M, (1996). “The Effect of Faulty Construction on Building Maintenance”, *Build Res. Inf.*, Vol. 23, No. 3, hal. 175–181.
- Assaf, S. dan Al-Hammad, A. (1997), “The Effect of Faulty Design on Building Maintenance”, *Journal of Quality Maintenance Engineering*, Vol. 3, No.1, hal. 29-39.
- Barlas, Y. (1996), Format Aspect of Model Validity and Validation in Sistem Dinamiks. *Sistem Dinamiks Review. Vol. 12, No. 3, hal. 183-210.*
- Blanchard, B. S., Verma, D. dan Peterson, E. L. (1995), *Maintainability: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management*, John Wiley&Son.Inc, New York.
- Boyce, W.J. (1991),” Design for Constructability”, *Hydrocarbon Processing*, Vol. 73, No.12, hal. 81.
- Chew, M.Y.L., Silva, N., Tan, P.P. (2002),”Maintainability of Facades in The Tropics”, National University of Singapore, 4 Architectural Drive, Singapore. hal. 185-193
- Chew, M.Y.L. (2010), *Maintainability of Facilities: For Building Professionals*, World Scientific Publishing Co.Pte.Ltd, Singapore.
- Chinda, T. (2007). *A System Syanamic Approach to Construction Safety Culture*. Gold Coast, Australia: Griffith University.
- Chua, D. K. H. (2003), *The Civil Engineering Handbook*, 2nd Edition, CRC Press LLC, National University of Singapore.
- Dahl, P., Horman, M., Pohlman, T., Pulaski M. (2005), “ Evaluating Design-Build-operate-Maintain Delivery as A Tool For Sustainability”, *Construction Research Congress*. Pennsylvania State University.

- Dunston, P. S. dan Williamson, C. E. (1999). "Incorporating Maintainability in Constructability Review Process", *J. Manage. Eng.*, Vol. 15, No. 5, hal. 56–60.
- Femi, O.T. (2014), "Effect of Faulty Design and Construction on Building Maintenance", *International Journal of Technology Enhancements and Emerging Engineering Research*, Vol. 2, No. 5, hal. 59-64.
- Fischer, M. dan Tatum, C.B. (1997), "Characteristics of Design Relevant Constructability Knowledge", *J. Constr. Engineering and Management*, ASCE, Vol. 123, No. 3, hal. 253–260.
- Forrester, J.X. dan Senge, P. M. (1980), "Test for Building Confidence in System Dynamic Models. *TIMS Studies in Management Science*. Hal.209-228.
- Forrester, Jay W. (1994). *System Dynamics, System Thinking, and Soft OR System Dynamics Review Summer*, Vol. 10, No. 2, hal 3.
- Ganisen, S., Sarrazin, M., Jawahar, L.N., Hakim, A.M., Kanniyapan, G. (2015), "The Identification of Design for Maintainability Imperatives to Achieve Cost Effective Building Maintenance: a Delphi Study", *Jurnal Teknologi UTM*. Vol.77, No.30. hal. 75-88.
- Hijazi, W., Alkass, S dan Zayed, T. (2009)," Constructability Assessment Using BIM CAD Simulation Model", *AACE International Transaction*, hal 1-14.
- Kementerian PPN Bappenas. (2006), *Rencana Kerja Pemerintah Tahun 2016*, Jakarta.
- Khan, S. (2012), "Constructability and Maintainability Exploring a Relationship", *NBMCW*, Vol. 17, No.8, ISSN 0973-0591.
- Lee, S., Jang, W., You, H. dan Lee, Y. (2013), "*Development of a Constructability Assssment Model for International Project Using Structural Equation Model*", Thesis Ph.D., University of Texas, San Antonio.
- McLucas, A. (2005). *System Dynamics Applications: A Modular Approach to Modelling Complex World Behavior*. Canberra, ustralia: Argos Press.
- Meier, J.R. dan Russell, J.S. (2000), "Model Process for Implementing Maintainability", *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 126, No. 6, hal. 440-450.
- Motsa, N., Oladapo, A. dan Othman, A.A.E.(2008), "The Benefits of Using Constructability during the Design Process", *Proceedings of The 5th Post Graduate Conference on Construction Industry Development*, 16-18 Maret 2008, Bloemfontein, South Africa.
- Moua, B. (2001), "Comparison of Two Maintainability Programs", *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 127, No. 3, hal. 239-244.
- Muhammadi, B dan Soesilo. (2001). *Analisis Sistem Dinamis*. Jakarta, UMJ Press.
- Nima, M.A. (2001), *Constructability factors in the Malaysian Construction Industry*, Thesis Ph.D., University Putra Malaysia, Malaysia.
- Nima, M.A., Abdul-Kadir, M.R., Jaafar, M.S., dan Alghulami, R.G. (2002), "Constructability Concepts in West Port Highway in Malaysia", *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 128, No.4, hal. 348–356.
- Othman, A.A.E. (2011), "Improving Building Performance through Integrating Constructability in the Design Process", *Organization, Technology and Management in Construction*, Vol. 10, hal.333-347.

- Razak, M.A. dan Jaafar, M. (2012), "An Assessment on Faulty Public Hospital Design in Malaysia", *Journal Design + Built*, Vol. 5, No.1.
- Saghatforoush, E., Tigunarsyah, B., Too, E. (2011), "Effectiveness of Constructability Concept in The Provision of Infrastructure Assets", *1st International Postgraduate Conference on Engineering, Designing and Developing The Built Environment for Sustainable wellbeing*, 7-10 Feb, 2011, Queensland university Technology, Brisbane.
- Saghatforoush, E., Tigunarsyah, B., Too, E. (2012), "Assessment of Operability and Maintainability Success Factors in Provision of Extended Constructability Principles", *Conference Paper: International Congress on Civil Engineering*, 8-10 Mei, 2012, Iran.
- Saghatforoush, E. (2014), "Extension of Constructability to Include Operation and Maintenance for Infrastructure Projects", Doctor of Philosophy, Science and Engineering Faculty, Queensland University of Technology, Australia.
- Samuel, O.O. dan Oloseye, O. (2016), "Constructability Concepts and Enhancement Capabilities of Construction site Team Members in Obafemi Awolowo University, Ile-Ife, Nigeria. *Civil and Environmental Research*. Vol.8, No.3, hal. 13-19.
- Schreckengost, R. C. (1985), *Dynamics Simulation Model: How Valid Are They?*, US Government Printing Office, Washington DC.
- Shaomin, W., Keith, N., Michael, W. dan Matthew, H. (2010), "Research Opportunities in Maintenance of Office Building Services Systems", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. Vol.16, No. 1, hal. 23-33.
- Silva, N. dan Ranasinghe, M. (2010), "Maintainability Risks of Condominiums in Sri Lanka", *Journal of Financial Management of Property and Construction*. Vol.15, No.3, hal. 41-60.
- Sugiyono, (2009), *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan Kombinasi (Mixed Methods)*, Edisi Ke-2, Alfabeta., Bandung.
- Sulaiman, A., Zin, R.M., Yahya, K. (2013), "Maintainability Factors and Risk in Building Design", *Conference Paper*.
- Suryani, E. (2006), *Pemodelan & Simulasi*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Suryani, E., Chou, S. dan Chen, C. (2010), "Air Passenger Demand Forecasting and Passenger Terminal Capacity Expansion: A System Dynamics Framework", *Expert System with Application*, Vol. 37, No.3, hal. 2324-2339.
- Tauriainen, M.K., Puttonen, J.A., Saari, A.J. (2015), "The Assessment of Constructability: BIM Cases", *Journal of Information Technology in Construction*. Vol. 20, hal 51-67.
- Wong, F., Lam, P., Chan, H., Wong, F.K. (2006), "Factors Affecting Buildability of Building Designs", *Canadian Journal of Civil Engineering*. Vol. 33, hal. 795-806.
- Wong, F., Lam, P., Chan, H., Shen, L. (2007), "A Study of Measure to Improve Constructability", *International Journal of Quality & Reliability Management*. Vol. 24, No.6, hal 586-601.
- Zolfagharian, S., Nourbakhsh, M., Hussein, S.M., Mohammad, R.Z., Irizarry. (2012), "A Conceptual Method of Constructability Improvement", *IACSIT International Journal of Engineering and Technology*. Vol. 4, No. 4, hal.456-459.



Lampiran 1 : Draft Kuisioner Penelitian



**MANAJEMEN PROYEK KONSTRUKSI
PASCASARJANA TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Draft Kuisioner Penelitian**

Kepada Yth. Bapak/Ibu
Di Tempat

Saya mahasiswa pascasarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan identitas sebagai berikut:

Nama : Rizki Astri Apriliani
NRP : 3115203005

Saat ini sedang mengerjakan penelitian untuk tesis yang berjudul “ **Pemodelan Hubungan Proses Desain Terhadap Peningkatan *Constructability* dan *Maintainability* pada Proyek Konstruksi Berbasis Sistem Dinamik**”. Tujuan penelitian ini adalah untuk dapat menganalisis hubungan dan mengembangkan model yang dapat digunakan untuk memprediksi besarnya pengaruh hubungan antar faktor desain terhadap peningkatan *constructability* dan *maintainability* pada proyek konstruksi. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan dalam penerapan *constructability* dan *maintainability* pada saat proses perancangan/desain dalam proyek konstruksi.

Kami memohon kesediaan Bapak/Ibu untuk berkenan meluangkan waktu guna mengisi kuisioner yang sangat kami butuhkan dalam melengkapi data di penelitian kami. Atas kesediaan Bapak/Ibu kami ucapkan banyak terimakasih.

Hormat saya,

Contact Person:

Rizki Astri Apriliani (082245178369/Email:astririzkiapriliani@gmail.com)
Manajemen Proyek Konstruksi
Pascasarjana Teknik Sipil
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

INFORMASI RESPONDEN

1. Nama Responden :
No. Telp/Email :
Nama Perusahaan :

2. Jabatan responden : (beri tanda ✓ pada kotak yang tersedia)

☐ Team Leader ☐ Lainnya

3. Umur : Tahun

4. Pengalaman di bidang konstruksi : Tahun

5. Latar belakang pendidikan ☐ S1 ☐ S2 ☐ S3

KETERANGAN TATA CARA PENGISIAN

Bagian 1 (Variabel penelitian)

Bapak/Ibu diminta memberikan pendapat terhadap suatu variabel yang ada dengan memberikan tanda (✓) pada kolom kuisioner yang telah disediakan sesuai dengan skala penilaian di bawah ini:




Nilai	5	4	3	2	1
Pengertian	Sangat setuju	Setuju	Cukup setuju	Tidak setuju	Sangat tidak setuju

Bagian 2 (Besarnya pengaruh hubungan antar variabel)

Bapak/Ibu diminta memberikan pendapat untuk mengukur besarnya pengaruh suatu variabel terhadap variabel yang lain yang ada dengan memberikan tanda (✓) pada kolom kuisioner yang telah disediakan sesuai dengan skala penilaian di bawah ini:

Nilai	5	4	3	2	1
Pengertian	Sangat berpengaruh	Cukup berpengaruh	Berpengaruh	Kurang berpengaruh	Tidak berpengaruh

BAGIAN 1. Berikut merupakan tabel dari kuisioner untuk verifikasi variabel penelitian:

NO	VARIABEL DESAIN	Skala persetujuan					VARIABEL CONSTRUCTABILITY	Skala persetujuan					VARIABEL MAINTAINABILITY	Skala persetujuan				
	Setujukah anda bahwa variabel dibawah ini adalah faktor pembentuk variabel desain?	Tidak setuju  Setuju					Setujukah anda bahwa variabel dibawah ini adalah faktor pembentuk variabel constructability?	Tidak setuju  Setuju					Setujukah anda bahwa variabel dibawah ini adalah variabel maintainability?	Tidak setuju  Setuju				
		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
1	Melaksanakan investigasi site dengan teliti (seperti: letak lubang pengeboran, survei topografi, cable detection, survei batasan bangunan)						Integrasi dari tahapan desain ke tahapan konstruksi						Mempertimbangkan kemudahan akses di dalam dan luar bangunan untuk pemeliharaan					
2	Membuat urutan penjadwalan pada proyek						Integrasi pengalaman dan pengetahuan secara optimal tentang konstruksi						Mempertimbangkan daya tahan/kekuatan material yang digunakan					
3	Mempertimbangkan urutan pemasangan						Ketersediaan tenaga kerja yang terampil untuk melakukan pekerjaan						Mempertimbangkan kemudahan pembersihan bangunan untuk pemeliharaan					
4	Mempertimbangkan penggunaan standarisasi dan memperbanyak pengulangan						Kemudahan mendapatkan material, tenaga kerja dan peralatan						Mempertimbangkan ketersediaan material, peralatan yang digunakan di masa akan datang/untuk jangka panjang					
5	Melakukan toleransi untuk item pekerjaan sebanyak mungkin & mengacu pada standar						Pemilihan metode konstruksi yang digunakan dengan tepat						Menggunakan standarisasi elemen bangunan					

NO	VARIABEL DESAIN	SKALA PERSETUJUAN					VARIABEL CONSTRUCTABILITY	SKALA PERSETUJUAN					VARIABEL MAINTAINABILITY	SKALA PERSETUJUAN				
	Setujukah anda bahwa variabel dibawah ini adalah faktor pembentuk variabel desain?	Tidak setuju ←────────────────→					Setujukah anda bahwa variabel dibawah ini adalah faktor pembentuk variabel constructability?	Tidak setuju ←────────────────→					Setujukah anda bahwa variabel dibawah ini adalah variabel maintainability?	Tidak setuju ←────────────────→				
		Setuju						Setuju						Setuju				
		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
6	Pemilihan material yang dapat dipakai jangka panjang untuk memenuhi persyaratan performance bangunan						Menerapkan efisiensi/kemudahan akses sumber daya menuju site						Membuat desain yang fleksibel untuk dipertukarkan dan diganti pemasangannya untuk memudahkan dalam pemeliharaan					
7	Mempertimbangkan efisiensi/kemudahan akses menuju site						Identifikasi spesifikasi yang digunakan padaprojek						Melakukan identifikasi elemen bangunan yang digunakan untuk memudahkan apabila dibutuhkan perbaikan/penggantian					
8	Mempertimbangan perlunya kebutuhan gudang												Menggunakan komponen dengan modular layout/banyak pengulangan untuk memudahkan perbaikan dan penggantian					
9	Ketersediaan tenaga kerja yang terampil												Memilih supplier yang terpercaya dan berkualitas baik					
10	Melakukan koordinasi & rasionalisasi terhadap informasi desain																	
11	Desain yang memperhatikan kebutuhan maintenance pada saat bangunan telah beroperasi																	
12	Desain yang memerhatikan keamanan pada saat pelaksanaan konstruksi																	
13	Komunikasi yang baik saat proses desain																	

BAGIAN 2. Berikut merupakan tabel dari kuisioner untuk penilaian besarnya pengaruh hubungan antar variabel.

Tabel 1. Tingkat pengaruh subvariabel terhadap variabel

NO	VARIABEL	SUB VARIABEL	PERTANYAAN	SKOR				
				1	2	3	4	5
1	Desain	Investigasi site layout	Seberapa besar tingkat pengaruh perencanaan investigasi site sebelum mendesain dengan teliti (seperti: letak lubang pengeboran, survei topografi, cable detection, survei batasan bangunan) terhadap desain?					
2		Penjadwalan	Seberapa besar tingkat pengaruh tingkat ketertiban mengikuti jadwal pada proyek dengan perubahan gambar sewaktu-waktu di lapangan tanpa banyak rework terhadap desain?					
3		Pemasangan	Seberapa besar tingkat pengaruh mempertimbangkan kemudahan penyambungan & pemasangan antar komponen pada bangunan terhadap desain?					
4		Modularisasi & standarisasi	Seberapa besar pengaruh tingkat penggunaan bentuk bangunan yang sederhana dengan layout yang modular dan menggunakan standarisasi yang tinggi terhadap desain?					
5		Persyaratan teknis	Seberapa besar pengaruh tingkat penentuan toleransi untuk item pekerjaan sebanyak mungkin serta menggunakan rincian blow-up untuk memeriksa kesalahan dalam desain terhadap desain?					
6		Material	Seberapa besar pengaruh tingkat penggunaan material lokal yang ketersediaannya terjamin, kuat, sesuai, mudah dalam perawatan serta supply material jika menggunakan material impor terhadap desain?					
7		Aksesibilitas	Seberapa besar pengaruh tingkat pertimbangan efisiensi menuju site layout dan storage terhadap desain?					

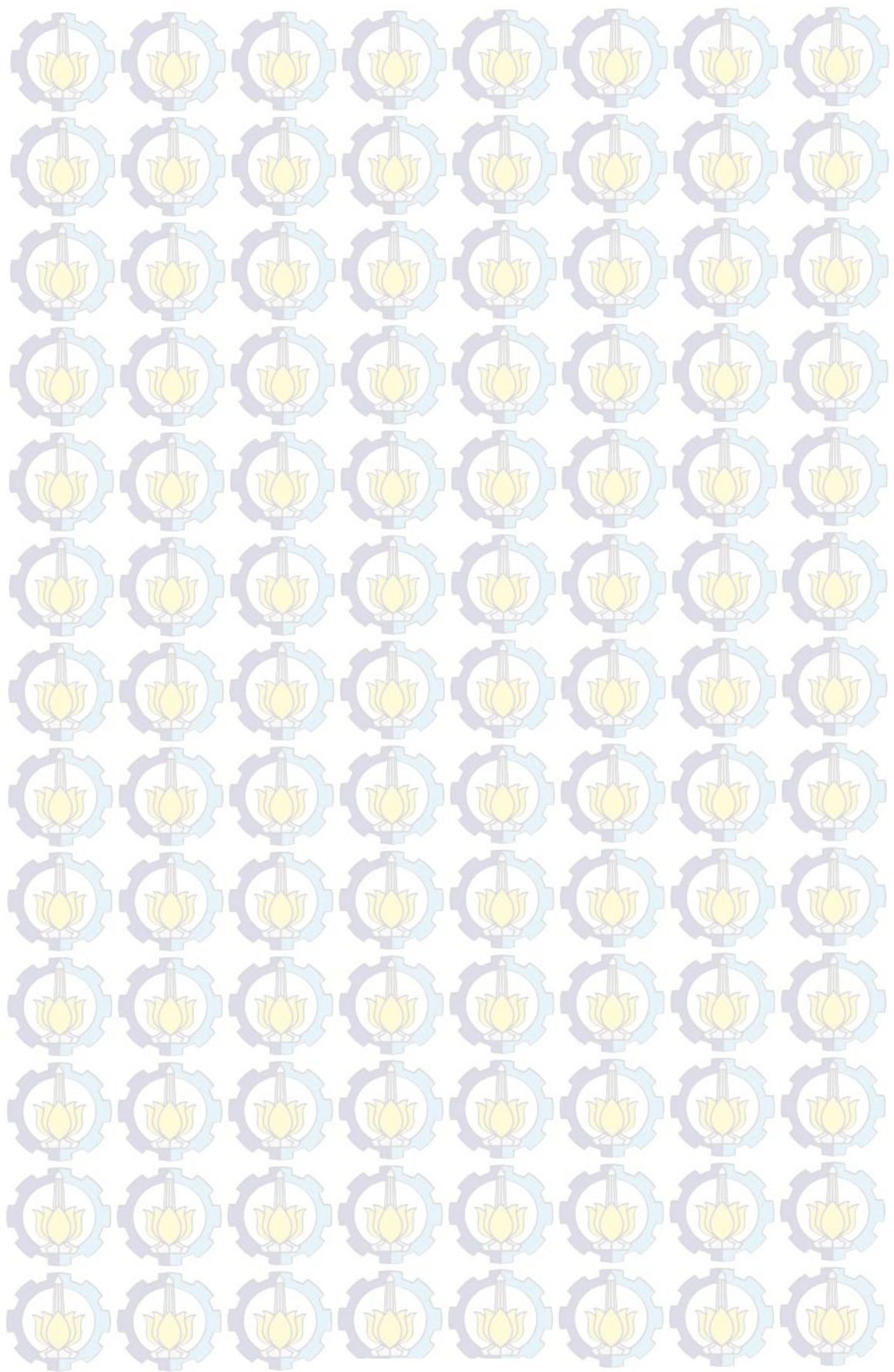
8	Constructability	Kebutuhan gudang	Seberapa besar pengaruh tingkat pertimbangan pentingnya kebutuhan gudang terhadap desain?					
9		Sumber daya manusia	Seberapa besar pengaruh tingkat ketersediaan tenaga kerja yang terampil dan berpengalaman di lapangan terhadap desain?					
10		Koordinasi&rasionalisasi	Seberapa besar pengaruh tingkat koordinasi gambar dan spesifikasi serta melakukan update spesifikasi untuk menghilangkan kesalahpahaman dan ambiguitas pada gambar terhadap desain?					
11		Desain yang memerhatikan kebutuhan maintenance	Seberapa besar pengaruh Desain yang memperhatikan kemudahan perawatan pada saat bangunan telah beroperasi terhadap desain?					
12		Desain untuk konstruksi yang aman	Seberapa besar pengaruh tingkat ketertiban mengikuti rangkaian tahapan untuk keamanan saat konstruksi (seperti: menaikkan heavy mechanical dan electrical plant) dan memerhatikan ukuran dan berat material yang aman untuk ditangani pekerja terhadap desain?					
13		Komunikasi	Seberapa besar pengaruh tingkat keterlibatan kontraktor dalam proses desain dan penyusunan strategi untuk mengurangi kurangnya rasa saling percaya antar anggota terhadap desain?					
14		Integrasi	Seberapa besar pengaruh tingkat integrasi dari tahapan desain ke tahapan konstruksi terhadap kemudahan pelaksanaan di lapangan?					
15		Pengetahuan&pengalaman	Seberapa besar pengaruh tingkat integrasi optimal pengalaman dan pengetahuan tentang konstruksi terhadap kemudahan pelaksanaan di lapangan?					
16		Metode konstruksi	Seberapa besar pengaruh tingkat ketepatan pemilihan metode konstruksi yang digunakan terhadap kemudahan pelaksanaan di lapangan?					
17		Spesifikasi	Seberapa besar pengaruh tingkat spesifikasi bangunan yang digunakan sesuai dengan standar yang disyaratkan terhadap kemudahan pelaksanaan di lapangan?					

18	Maintainability	Daya tahan	Seberapa besar pengaruh tingkat daya tahan/kekuatan material yang digunakan terhadap kemudahan pemeliharaan?					
19		Kemudahan pembersihan	Seberapa besar pengaruh tingkat keperluan kemudahan pembersihan bangunan untuk pemeliharaan terhadap kemudahan pemeliharaan?					
20		Ketersediaan	Seberapa besar pengaruh tingkat ketersediaan material, peralatan yang digunakan di masa akan datang/untuk jangka panjang terhadap kemudahan pemeliharaan?					
21		Fleksibilitas	Seberapa besar pengaruh desain yang fleksibel untuk dipertukarkan dan diganti pemasangannya untuk memudahkan dalam pemeliharaan?					
22		Identifikasi	Seberapa besar pengaruh tingkat penggunaan identifikasi elemen bangunan yang digunakan untuk memudahkan apabila dibutuhkan perbaikan/penggantian terhadap kemudahan pemeliharaan?					
23		Supplier	Seberapa besar pengaruh tingkat ketepatan pemilihan supplier yang terpercaya dan berkualitas baik terhadap kemudahan pemeliharaan?					

Tabel 2. Tingkat pengaruh antar variabel dan antar sub variabel

NO	PERTANYAAN	SKOR				
		1	2	3	4	5
1	Seberapa besar pengaruh desain terhadap constructability?					
2	Seberapa besar pengaruh desain terhadap maintainability?					
3	Seberapa besar pengaruh constructability terhadap maintainability?					
4	Seberapa besar pengaruh proses desain terhadap performa bangunan?					
5	Seberapa besar pengaruh constructability terhadap performa bangunan?					

6	Seberapa besar pengaruh maintainability terhadap performa bangunan?					
7	Seberapa besar pengaruh tingkat ketrampilan tenaga kerja terhadap integrasi dari tahapan desain ke konstruksi?					
8	Seberapa besar pengaruh tingkat komunikasi yang baik terhadap pengetahuan tentang konstruksi?					
9	Seberapa besar pengaruh tingkat pengetahuan tentang konstruksi terhadap ketepatan pemilihan metode konstruksi?					
10	Seberapa besar pengaruh tingkat pemilihan material terhadap desain yang memerhatikan kebutuhan maintenance?					
11	Seberapa besar pengaruh tingkat pemilihan material terhadap daya tahan material?					
12	Seberapa besar pengaruh tingkat efisiensi aksesibilitas terhadap fleksibilitas dalam pemeliharaan bangunan?					
13	Seberapa besar pengaruh tingkat penggunaan modularisasi dan standarisasi terhadap fleksibilitas dalam pemeliharaan bangunan?					
14	Seberapa besar pengaruh tingkat fleksibilitas dalam pemeliharaan bangunan terhadap kemudahan pembersihan?					
15	Seberapa besar pengaruh tingkat penggunaan komunikasi yang baik terhadap identifikasi spesifikasi yang digunakan saat pelaksanaan?					
16	Seberapa besar pengaruh tingkat penggunaan supplier yang terpilih terhadap ketersediaan sumber daya?					



Lampiran 2: Pengolahan Data Untuk Persetujuan Variabel

	VARIABEL DESAIN												
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13
RESPONDEN 1	5	5	3	5	3	5	4	4	5	5	5	5	1
RESPONDEN 2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
RESPONDEN 3	4	3	3	2	4	5	5	3	3	4	4	4	5
RESPONDEN 4	5	3	4	4	5	5	5	5	4	4	5	5	4
RESPONDEN 5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
RESPONDEN 6	5	3	5	4	4	4	5	3	5	5	3	3	2
RESPONDEN 7	5	3	5	4	4	4	5	3	5	5	3	3	2
RESPONDEN 8	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
RESPONDEN 9	4	5	4	3	5	5	5	5	5	4	5	5	5
RESPONDEN 10	5	4	4	4	4	5	4	4	4	5	5	4	5
RESPONDEN 11	4	4	4	4	5	4	3	3	4	4	4	5	4
5	35	25	20	15	25	35	35	20	30	30	30	30	25
4	16	8	20	24	20	16	12	12	16	20	12	12	12
3		12	9	3	3		3	12	3		6	6	
2				2									4
1													1
Total	51	45	49	44	48	51	50	44	49	50	48	48	42
Skor tertinggi	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
Interpretasi skor	92.73%	81.82%	89.09%	80.00%	87.27%	92.73%	90.91%	80.00%	89.09%	90.91%	87.27%	87.27%	76.36%

	CONSTRUCTABILITY			
	C1	C2	C3	C4
RESPONDEN 1	5	5	5	5
RESPONDEN 2	4	5	4	5
RESPONDEN 3	4	2	5	4
RESPONDEN 4	5	4	5	4
RESPONDEN 5	5	5	4	4
RESPONDEN 6	5	5	5	5
RESPONDEN 7	5	5	5	4

RESPONDEN 8	4	4	5	5
RESPONDEN 9	5	5	5	5
RESPONDEN 10	4	5	5	4
RESPONDEN 11	5	5	4	4
5	35	40	40	25
4	16	8	12	24
3				
2		2		
1				
Total	51	50	52	49
Skor tertinggi	55	55	55	55
Interpretasi skor	93%	91%	95%	89%

	MAINTAINABILITY					
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
RESPONDEN 1	5	5	5	3	5	5
RESPONDEN 2	4	5	4	4	4	5
RESPONDEN 3	4	3	4	3	3	5
RESPONDEN 4	4	4	5	4	4	4
RESPONDEN 5	3	4	3	4	4	4
RESPONDEN 6	5	4	3	5	5	5
RESPONDEN 7	5	4	3	5	5	5
RESPONDEN 8	5	4	5	4	5	5
RESPONDEN 9	5	4	5	5	5	5
RESPONDEN 10	5	5	5	3	4	4
RESPONDEN 11	4	4	3	3	3	4
5	30	15	25	15	25	35
4	16	28	8	16	16	16
3	3	3	12	12	6	
2						
1						
Total	49	46	45	43	47	51

Skor tertinggi	55	55	55	55	55	55
Interpretasi skor	89%	84%	82%	78%	85%	93%

Lampiran 3: Normalisasi Pembobotan Model Awal

	DESAIN												
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13
RESP1	5	5	4	4	5	5	5	5	5	4	5	5	4
RESP2	5	5	4	4	4	4	5	5	5	4	5	5	4
RESP3	4	3	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3
RESP4	5	3	3	5	5	5	5	4	5	5	4	5	4
RESP5	3	5	5	3	3	4	5	4	5	5	5	4	3
RESP6	5	4	3	5	5	5	3	5	3	5	3	5	3
RESP7	5	4	3	4	4	4	3	5	3	5	3	5	3
RESP8	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4
RESP9	5	5	5	4	5	5	4	5	5	4	4	5	4
RESP10	5	5	5	2	5	5	4	4	5	4	4	5	4
RESP11	5	4	4	4	4	4	3	4	3	4	3	5	3
RESP12	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
RESP13	4	4	5	5	4	4	4	3	5	5	4	4	4
RESP14	5	4	5	5	3	3	4	3	3	4	3	4	4
RESP15	5	4	4	5	4	4	4	3	4	4	3	3	4
RESP16	5	4	5	4	5	5	5	3	5	5	5	5	5
RESP17	3	2	3	5	3	3	2	1	5	5	4	4	3
RESP18	4	5	4	4	4	4	5	5	4	5	4	5	4
RESP19	5	5	4	4	5	5	5	5	4	5	5	5	4
RESP20	4	4	5	3	5	5	5	5	4	5	4	5	4
RESP21	4	3	5	5	4	4	4	2	4	4	4	4	4
RESP22	5	2	3	4	3	4	4	3	3	4	4	3	5
RESP23	5	3	4	2	4	4	4	3	3	5	5	5	5
RESP24	4	4	4	4	4	4	4	5	4	5	4	4	5
RESP25	5	5	4	5	2	5	5	3	4	5	5	5	4
RESP26	5	5	5		5	5	5	5	5	5	5	5	5
RESP27	5	5	4	4	5	5	5	5	4	5	4	4	5
RESP28	4	4	3	3	3	4	4	3	2	4	4	4	4
RESP29	5	1	1	4	5	2	4	4	5	5	5	5	4
RESP30	4	1	4	4	4	4	2	2	5	4	4	2	2
RESP31	5	5	3	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5

RESP32	5	5	3	5	5	4	5	3	4	4	5	5	4
TOTAL	147	128	127	128	134	136	134	123	132	144	133	141	127
pembobotan	0.0349	0.0304	0.0301	0.0304	0.0323	0.0323	0.0318	0.0292	0.0313	0.0342	0.0316	0.0335	0.0304

Lampiran 4: Normalisasi Pembobotan Skenario 1

	D9	D13	C1
RESP 1	5	4	5
RESP 2	5	4	5
RESP 3	3	2	4
RESP 4	5	3	5
RESP 5	5	2	3
RESP 6	3	5	5
RESP 7	3	5	5
RESP 8	4	4	4
RESP 9	5	4	5
RESP 10	5	4	4
RESP 11	3	3	4
RESP 12	4	4	4
RESP 13	5	5	4
RESP 14	3	3	4
RESP 15	4	4	4
RESP 16	5	3	5
RESP 17	5	5	4
RESP 18	4	5	4
RESP 19	4	3	4
RESP 20	4	4	4
RESP 21	4	2	4
RESP 22	3	5	4
RESP 23	3	4	4
RESP 24	4	5	4
RESP 25	4	5	4
RESP 26	5	5	5
RESP 27	4	5	4
RESP 28	2	5	4
RESP 29	5	5	5
RESP 30	5	2	4
RESP 31	5	5	5

RESP 32	4	4	4
TOTAL	132	128	137
PEMBOBOTAN	0.332	0.322	0.345

Lampiran 5 Normalisasi Pembobotan Skenario 2

	D9	D13	C2
RESP 1	5	4	5
RESP 2	5	4	5
RESP 3	3	2	3
RESP 4	5	3	4
RESP 5	5	2	3
RESP 6	3	5	5
RESP 7	3	5	5
RESP 8	4	4	5
RESP 9	5	4	5
RESP 10	5	4	5
RESP 11	3	3	4
RESP 12	4	4	4
RESP 13	5	5	4
RESP 14	3	3	3
RESP 15	4	4	4
RESP 16	5	3	5
RESP 17	5	5	5
RESP 18	4	5	5
RESP 19	4	3	4
RESP 20	4	4	4
RESP 21	4	2	5
RESP 22	3	5	4
RESP 23	3	4	5
RESP 24	4	5	5
RESP 25	4	5	4
RESP 26	5	5	5
RESP 27	4	5	4
RESP 28	2	5	4
RESP 29	5	5	5
RESP 30	5	2	5
RESP 31	5	5	5

RESP 32	4	4	5
TOTAL	132	128	143
PEMBOBOTAN	0.328	0.318	0.355

Lampiran 6: Normalisasi Pembobotan Skenario 3

	D9	D13	C3
RESP 1	5	4	5
RESP 2	5	4	5
RESP 3	3	2	4
RESP 4	5	3	5
RESP 5	5	2	3
RESP 6	3	5	5
RESP 7	3	5	5
RESP 8	4	4	4
RESP 9	5	4	4
RESP 10	5	4	4
RESP 11	3	3	5
RESP 12	4	4	4
RESP 13	5	5	4
RESP 14	3	3	5
RESP 15	4	4	4
RESP 16	5	3	5
RESP 17	5	5	4
RESP 18	4	5	5
RESP 19	4	3	4
RESP 20	4	4	4
RESP 21	4	2	5
RESP 22	3	5	3
RESP 23	3	4	5
RESP 24	4	5	5
RESP 25	4	5	5
RESP 26	5	5	5
RESP 27	4	5	4
RESP 28	2	5	5
RESP 29	5	5	5
RESP 30	5	2	5
RESP 31	5	5	5

RESP 32	4	4	5
TOTAL	132	128	145
PEMBOBOTAN	0.326	0.316	0.358

Lampiran 7: Normalisasi Pembobotan Skenario 4

	D9	D13	C4
RESP 1	5	4	5
RESP 2	5	4	5
RESP 3	3	2	5
RESP 4	5	3	5
RESP 5	5	2	3
RESP 6	3	5	4
RESP 7	3	5	4
RESP 8	4	4	5
RESP 9	5	4	4
RESP 10	5	4	3
RESP 11	3	3	5
RESP 12	4	4	4
RESP 13	5	5	4
RESP 14	3	3	3
RESP 15	4	4	4
RESP 16	5	3	4
RESP 17	5	5	3
RESP 18	4	5	4
RESP 19	4	3	4
RESP 20	4	4	4
RESP 21	4	2	5
RESP 22	3	5	5
RESP 23	3	4	4
RESP 24	4	5	5
RESP 25	4	5	5
RESP 26	5	5	5
RESP 27	4	5	4
RESP 28	2	5	4
RESP 29	5	5	4
RESP 30	5	2	4
RESP 31	5	5	5

RESP 32	4	4	4
TOTAL	132	128	136
PEMBOBOTAN	0.333	0.323	0.343

Lampiran 8: Normalisasi Pembobotan Skenario 5

	D9	D13	C1	C2	C3	C4
RESP 1	5	4	5	5	5	5
RESP 2	5	4	5	5	5	5
RESP 3	3	2	4	3	4	5
RESP 4	5	3	5	4	5	5
RESP 5	5	2	3	3	3	3
RESP 6	3	5	5	5	5	4
RESP 7	3	5	5	5	5	4
RESP 8	4	4	4	5	4	5
RESP 9	5	4	5	5	4	4
RESP 10	5	4	4	5	4	3
RESP 11	3	3	4	4	5	5
RESP 12	4	4	4	4	4	4
RESP 13	5	5	4	4	4	4
RESP 14	3	3	4	3	5	3
RESP 15	4	4	4	4	4	4
RESP 16	5	3	5	5	5	4
RESP 17	5	5	4	5	4	3
RESP 18	4	5	4	5	5	4
RESP 19	4	3	4	4	4	4
RESP 20	4	4	4	4	4	4
RESP 21	4	2	4	5	5	5
RESP 22	3	5	4	4	3	5
RESP 23	3	4	4	5	5	4
RESP 24	4	5	4	5	5	5
RESP 25	4	5	4	4	5	5
RESP 26	5	5	5	5	5	5
RESP 27	4	5	4	4	4	4
RESP 28	2	5	4	4	5	4
RESP 29	5	5	5	5	5	4
RESP 30	5	2	4	5	5	4
RESP 31	5	5	5	5	5	5

RESP 32	4	4	4	5	5	4
TOTAL	132	128	137	143	145	136
PEMBOBOTAN	0.161	0.156	0.167	0.174	0.177	0.166

Lampiran 9: Normalisasi Pembobotan Skenario 6

	D6	D7	D13	M1
RESP 1	5	5	4	5
RESP 2	4	5	4	4
RESP 3	4	3	2	4
RESP 4	5	5	3	4
RESP 5	4	5	2	4
RESP 6	5	3	5	5
RESP 7	4	3	5	5
RESP 8	5	5	4	5
RESP 9	5	4	4	5
RESP 10	5	4	4	5
RESP 11	4	3	3	5
RESP 12	4	4	4	4
RESP 13	4	4	5	4
RESP 14	3	4	3	4
RESP 15	4	4	4	4
RESP 16	5	5	3	4
RESP 17	3	2	5	5
RESP 18	4	5	5	4
RESP 19	5	5	3	4
RESP 20	5	5	4	4
RESP 21	4	4	2	4
RESP 22	4	4	5	5
RESP 23	4	4	4	4
RESP 24	4	4	5	4
RESP 25	5	5	5	4
RESP 26	5	5	5	5
RESP 27	5	5	5	4
RESP 28	4	4	5	5
RESP 29	2	4	5	4
RESP 30	4	2	2	4
RESP 31	4	5	5	5

RESP 32	4	5	4	3
TOTAL	136	134	128	139
PEMBOBOTAN	0.253	0.250	0.238	0.259

Lampiran 10: Normalisasi Pembobotan Skenario 7

	D6	D7	D13	M2
RESP 1	5	5	4	5
RESP 2	4	5	4	4
RESP 3	4	3	2	4
RESP 4	5	5	3	5
RESP 5	4	5	2	4
RESP 6	5	3	5	5
RESP 7	4	3	5	5
RESP 8	5	5	4	5
RESP 9	5	4	4	4
RESP 10	5	4	4	5
RESP 11	4	3	3	5
RESP 12	4	4	4	4
RESP 13	4	4	5	4
RESP 14	3	4	3	4
RESP 15	4	4	4	4
RESP 16	5	5	3	5
RESP 17	3	2	5	4
RESP 18	4	5	5	4
RESP 19	5	5	3	4
RESP 20	5	5	4	3
RESP 21	4	4	2	4
RESP 22	4	4	5	4
RESP 23	4	4	4	5
RESP 24	4	4	5	4
RESP 25	5	5	5	4
RESP 26	5	5	5	5
RESP 27	5	5	5	4
RESP 28	4	4	5	5
RESP 29	2	4	5	5
RESP 30	4	2	2	5
RESP 31	4	5	5	5

RESP 32	4	5	4	4
TOTAL	136	134	128	141
PEMBOBOTAN	0.252	0.249	0.237	0.262

Lampiran 11: Normalisasi Pembobotan Skenario 8

	D6	D7	D13	M3
RESP 1	5	5	4	4
RESP 2	4	5	4	4
RESP 3	4	3	2	4
RESP 4	5	5	3	4
RESP 5	4	5	2	4
RESP 6	5	3	5	4
RESP 7	4	3	5	4
RESP 8	5	5	4	5
RESP 9	5	4	4	4
RESP 10	5	4	4	5
RESP 11	4	3	3	4
RESP 12	4	4	4	4
RESP 13	4	4	5	4
RESP 14	3	4	3	4
RESP 15	4	4	4	4
RESP 16	5	5	3	4
RESP 17	3	2	5	3
RESP 18	4	5	5	4
RESP 19	5	5	3	4
RESP 20	5	5	4	4
RESP 21	4	4	2	4
RESP 22	4	4	5	5
RESP 23	4	4	4	4
RESP 24	4	4	5	4
RESP 25	5	5	5	5
RESP 26	5	5	5	5
RESP 27	5	5	5	4
RESP 28	4	4	5	4
RESP 29	2	4	5	5
RESP 30	4	2	2	5
RESP 31	4	5	5	5

RESP 32	4	5	4	3
TOTAL	136	134	128	134
PEMBOBOTAN	0.256	0.252	0.241	0.252

Lampiran 12: Normalisasi Pembobotan Skenario 9

	D6	D7	D13	M4
RESP 1	5	5	4	4
RESP 2	4	5	4	4
RESP 3	4	3	2	3
RESP 4	5	5	3	4
RESP 5	4	5	2	4
RESP 6	5	3	5	3
RESP 7	4	3	5	3
RESP 8	5	5	4	5
RESP 9	5	4	4	5
RESP 10	5	4	4	4
RESP 11	4	3	3	5
RESP 12	4	4	4	4
RESP 13	4	4	5	4
RESP 14	3	4	3	4
RESP 15	4	4	4	3
RESP 16	5	5	3	4
RESP 17	3	2	5	3
RESP 18	4	5	5	5
RESP 19	5	5	3	4
RESP 20	5	5	4	5
RESP 21	4	4	2	4
RESP 22	4	4	5	4
RESP 23	4	4	4	5
RESP 24	4	4	5	4
RESP 25	5	5	5	5
RESP 26	5	5	5	5
RESP 27	5	5	5	4
RESP 28	4	4	5	4
RESP 29	2	4	5	3
RESP 30	4	2	2	5
RESP 31	4	5	5	5

RESP 32	4	5	4	3
TOTAL	136	134	128	131
PEMBOBOTAN	0.257	0.253	0.242	0.248

Lampiran 13: Normalisasi Pembobotan Skenario 10

	D6	D7	D13	M5
RESP 1	5	5	4	5
RESP 2	4	5	4	5
RESP 3	4	3	2	4
RESP 4	5	5	3	4
RESP 5	4	5	2	4
RESP 6	5	3	5	4
RESP 7	4	3	5	4
RESP 8	5	5	4	5
RESP 9	5	4	4	4
RESP 10	5	4	4	5
RESP 11	4	3	3	4
RESP 12	4	4	4	4
RESP 13	4	4	5	4
RESP 14	3	4	3	3
RESP 15	4	4	4	4
RESP 16	5	5	3	5
RESP 17	3	2	5	3
RESP 18	4	5	5	5
RESP 19	5	5	3	4
RESP 20	5	5	4	4
RESP 21	4	4	2	4
RESP 22	4	4	5	4
RESP 23	4	4	4	4
RESP 24	4	4	5	4
RESP 25	5	5	5	4
RESP 26	5	5	5	5
RESP 27	5	5	5	4
RESP 28	4	4	5	4
RESP 29	2	4	5	5
RESP 30	4	2	2	5
RESP 31	4	5	5	5

RESP 32	4	5	4	4
TOTAL	136	134	128	136
PEMBOBOTAN	0.255	0.251	0.240	0.255

Lampiran 14: Normalisasi Pembobotan Skenario 11

	D6	D7	D13	M6
RESP 1	5	5	4	5
RESP 2	4	5	4	5
RESP 3	4	3	2	3
RESP 4	5	5	3	4
RESP 5	4	5	2	4
RESP 6	5	3	5	4
RESP 7	4	3	5	4
RESP 8	5	5	4	5
RESP 9	5	4	4	5
RESP 10	5	4	4	5
RESP 11	4	3	3	5
RESP 12	4	4	4	4
RESP 13	4	4	5	4
RESP 14	3	4	3	5
RESP 15	4	4	4	4
RESP 16	5	5	3	4
RESP 17	3	2	5	4
RESP 18	4	5	5	5
RESP 19	5	5	3	4
RESP 20	5	5	4	4
RESP 21	4	4	2	4
RESP 22	4	4	5	3
RESP 23	4	4	4	3
RESP 24	4	4	5	4
RESP 25	5	5	5	4
RESP 26	5	5	5	5
RESP 27	5	5	5	3
RESP 28	4	4	5	4
RESP 29	2	4	5	5
RESP 30	4	2	2	5
RESP 31	4	5	5	5

RESP 32	4	5	4	5
TOTAL	136	134	128	137
PEMBOBOTAN	0.254	0.250	0.239	0.256

Lampiran 15: Normalisasi Pembobotan Skenario 12

	D6	D7	D13	M1	M2	M3	M4	M5	M6
RESP 1	5	5	4	5	5	4	4	5	5
RESP 2	4	5	4	4	4	4	4	5	5
RESP 3	4	3	2	4	4	4	3	4	3
RESP 4	5	5	3	4	5	4	4	4	4
RESP 5	4	5	2	4	4	4	4	4	4
RESP 6	5	3	5	5	5	4	3	4	4
RESP 7	4	3	5	5	5	4	3	4	4
RESP 8	5	5	4	5	5	5	5	5	5
RESP 9	5	4	4	5	4	4	5	4	5
RESP 10	5	4	4	5	5	5	4	5	5
RESP 11	4	3	3	5	5	4	5	4	5
RESP 12	4	4	4	4	4	4	4	4	4
RESP 13	4	4	5	4	4	4	4	4	4
RESP 14	3	4	3	4	4	4	4	3	5
RESP 15	4	4	4	4	4	4	3	4	4
RESP 16	5	5	3	4	5	4	4	5	4
RESP 17	3	2	5	5	4	3	3	3	4
RESP 18	4	5	5	4	4	4	5	5	5
RESP 19	5	5	3	4	4	4	4	4	4
RESP 20	5	5	4	4	3	4	5	4	4
RESP 21	4	4	2	4	4	4	4	4	4
RESP 22	4	4	5	5	4	5	4	4	3
RESP 23	4	4	4	4	5	4	5	4	3
RESP 24	4	4	5	4	4	4	4	4	4
RESP 25	5	5	5	4	4	5	5	4	4
RESP 26	5	5	5	5	5	5	5	5	5
RESP 27	5	5	5	4	4	4	4	4	3
RESP 28	4	4	5	5	5	4	4	4	4
RESP 29	2	4	5	4	5	5	3	5	5
RESP 30	4	2	2	4	5	5	5	5	5
RESP 31	4	5	5	5	5	5	5	5	5

RESP 32	4	5	4	3	4	3	3	4	5
TOTAL	136	134	128	139	141	134	131	136	137
PEMBOBOTAN	0.112	0.110	0.105	0.114	0.116	0.110	0.108	0.112	0.113

Lampiran 16: Data Responden Penelitian

	NAMA	NAMA PERUSAHAAN	PENG ALAM AN	Lama bekerja	PEN- DIDIK AN	JABATAN
RESP 1	M. Ramdhani . HN	PT. Parigraha Konsultan	20	>20 Tahun	s1	Team Leader
RESP 2	Adji	PT. Parigraha Konsultan	15	10-20 Tahun	s1	Team Leader
RESP 3	Anjar Wibisono	PT. Solusi Utama Konsultan	6	<10 Tahun	s1	Staff Ahli
RESP 4	Ahmad Handri Widiyanto	PT. Solusi Utama Konsultan	17	10-20 Tahun	s1	Team Leader
RESP 5	Roy Chrismiyanto	PT. Solusi Utama Konsultan	10	10-20 Tahun	s1	Team Leader
RESP 6	Nur Syarif Hidayat	PT. Surya Cahaya Utama	5	≤ 5 Tahun	s1	Staff Ahli
RESP 7	Syarif	PT. Surya Cahaya Utama	5	≤ 5 Tahun	s1	Staff Ahli
RESP 8	Slamet Budi Santosa	CV. Cipta Suramadu Consultant	6	<10 Tahun	s1	Staff Ahli
RESP 9	Sri Kesdik	CV. Cipta Suramadu Consultant	10	10-20 Tahun	s1	Team Leader
RESP 10	Wahjoe Rahardjo NK	PT. Indocode Surya	40	>20 Tahun	s1	Team Leader
RESP 11	Emir Mahardinata	PT. Indocode Surya	7	<10 Tahun	s1	Staff Ahli
RESP 12	Sarwi Suryanto	PT. Dimensi Arsitektur Indonesia	5	≤ 5 Tahun	s1	Staff Ahli
RESP 13	Nuke Puspawardani	PT. Dimensi Arsitektur Indonesia	5	≤ 5 Tahun	s2	Staff Ahli
RESP 14	Erni F	PT. Candi Kencana Sabdawisesa	30	>20 Tahun	s1	Team Leader
RESP 15	Mirawati Septyaningsih	PT. Candi Kencana Sabdawisesa	6	<10 Tahun	s1	Staff Ahli
RESP 16	A. Priadi	CV. Arya Duta Engineering	26	>20 Tahun	s1	Team Leader
RESP 17	Gunadi H	PT. Handal Natsa Kedhaton	17	10-20 Tahun	s1	Team Leader
RESP 18	Andri Firmansyah	PT. Inti Transurya	6	<10 Tahun	s1	Team Leader
RESP 19	A. Chabib	PT. Inti Transurya	6	<10 Tahun	s1	Team Leader
RESP 20	Mukafi	PT. Inti Transurya	2	≤ 5 Tahun	s1	Team Leader
RESP 21	Rudi	PT. Mitra Cipta Engineering	24	>20 Tahun	s1	Team Leader
RESP 22	S. Yana	PT. Mitra Cipta Engineering	6	<10 Tahun	s1	Team Leader
RESP 23	Utomo	PT. Mitra Cipta Engineering	5	≤ 5 Tahun	s1	Team Leader
RESP 24	Areza Idirdan	PT. Mitra Cipta Engineering	6	<10 Tahun	s1	Team Leader

RESP 25	Adhi Kurniawan	PT. Mitra Cipta Engineering	8	<10 Tahun	≤1	Team Leader
RESP 26	Edy Purnomo	PT. Mitra Cipta Engineering	8	<10 Tahun	≤1	Team Leader
RESP 27	Abdul Azis	CV. Azita Abadi	25	>20 Tahun	≤1	Team Leader
RESP 28	Nizar Wan Azhari	CV. Azita Abadi	2	≤ 5 Tahun	≤1	Team Leader
RESP 29	Vicky Hermawan	CV. Azita Abadi	8	<10 Tahun	≤1	Team Leader
RESP 30	Soepriyanto	PT. Isoplan	33	>20 Tahun	≤1	Team Leader
RESP 31	Yusuf Rudi Widjaya	PT. Isoplan	24	>20 Tahun	≤2	Team Leader
RESP 32	Nono Rainbowono	PT. Isoplan	25	>20 Tahun	≤1	Team Leader

Lampiran 17: Regresi Model Awal pada Desain

Analisis Korelasi Ganda (R)

Analisis ini digunakan untuk mengetahui hubungan antara dua atau lebih variabel independen (X_1, X_2, \dots, X_n) terhadap variabel dependen (Y) secara serentak. Koefisien ini menunjukkan seberapa besar hubungan yang terjadi antara variabel independen (X_1, X_2, \dots, X_n) secara serentak terhadap variabel dependen (Y). nilai R berkisar antara 0 sampai 1, nilai semakin mendekati 1 berarti hubungan yang terjadi semakin kuat, sebaliknya nilai semakin mendekati 0 maka hubungan yang terjadi semakin lemah.

Menurut Sugiyono (2007) pedoman untuk memberikan interpretasi koefisien korelasi sebagai berikut:

0,00 - 0,199 = sangat rendah

0,20 - 0,399 = rendah

0,40 - 0,599 = sedang

0,60 - 0,799 = kuat

0,80 - 1,000 = sangat kuat

1. Persamaan Regresi:

$$Y = -1.02 + (0.315)D1 + (0.214)D2 - (0.226)D3 - (0.097)D4 + (0.419)D5 + (0.228)D6 + (0.013)D7 - (0.133)D8 + (0.216)D9 + (0.4)D10 + (0.06)D11 - (0.072)D12 - (0.131)D13$$

Coefficients ^a					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	-1.020	1.037		-.983	.338
D1	.315	.155	.274	2.025	.058
D2	.214	.119	.361	1.806	.088
D3	-.226	.122	-.298	-1.850	.081
D4	-.097	.101	-.117	-.968	.346
D5	.419	.135	.426	3.105	.006
D6	.228	.135	.232	1.696	.107
D7	.013	.143	.016	.091	.929
D8	-.133	.104	-.208	-1.269	.221
D9	.216	.109	.266	1.972	.064
D10	.400	.178	.322	2.254	.037
D11	.060	.182	.062	.330	.745
D12	-.072	.138	-.081	-.523	.607
D13	-.131	.088	-.195	-1.486	.155

2. Nilai R=0.917; maka hubungan yang terjadi antara variabel independen secara serentak terhadap variabel dependen (Y) sangat kuat

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.917 ^a	.841	.726	.37026

Lampiran 18: Regresi Skenario 1

1. Persamaan regresi: $Y = 1.2 + (-0.058)D9 + (0.065)D13 + (0.737)C1$

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	1.229	.780		1.575	.126
D9	-.058	.107	-.081	-.540	.594
D13	.065	.089	.110	.725	.475
C1	.737	.185	.627	3.975	.000

2. Nilai R= 0.752; maka hubungan yang terjadi antara variabel independen secara serentak terhadap variabel dependen (Y) kuat.

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.752 ^a	.425	.364	.49037

Lampiran 19: Regresi Skenario 2

1. Persamaan regresi: $Y = 2.028 + (-0.092)D9 + (0.033)D13 + (0.587)C2$

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	2.028	.677		2.997	.006
D9	-.092	.112	-.130	-.816	.421
D13	.033	.095	.056	.347	.731
C2	.587	.156	.641	3.756	.001

2. Nilai R= 0.734; maka hubungan yang terjadi antara variabel independen secara serentak terhadap variabel dependen (Y) kuat

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.734 ^a	.402	.338	.50012

Lampiran 20: Regresi Skenario 3

1. Persamaan regresi: $Y=0.410+(0.102)D9+(0.144)D13+(0.662)C3$

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.410	.760		.540	.593
	D9	.102	.091	.145	1.130	.268
	D13	.144	.076	.245	1.900	.068
	C3	.662	.127	.669	5.198	.000

2. Nilai $R = 0.737$; maka hubungan yang terjadi antara variabel independen secara serentak terhadap variabel dependen (Y) kuat

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.737 ^a	.543	.494	.43750

Lampiran 21: Regresi Skenario 4

1. Persamaan regresi: $Y=1.015+(0.096)D9+(0.166)D13+(0.549)C4$

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.015	.774		1.311	.200
	D9	.096	.099	.136	.974	.338
	D13	.166	.082	.283	2.027	.052
	C4	.549	.127	.600	4.303	.000

2. Nilai $R = 0.778$; maka hubungan yang terjadi antara variabel independen secara serentak terhadap variabel dependen (Y) kuat

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.778 ^a	.459	.401	.47582

Lampiran 22: Regresi Skenario 5

1. Persamaan regresi:

$$Y = 0.848 + (0.007)D9 + (0.064)D13 + (0.153)C1 + (0.249)C2 + (0.357)C3 + (0.373)C4$$

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-.848	.624		-1.358	.187
	D9	.007	.080	.010	.085	.933
	D13	.064	.064	.109	.997	.328
	C1	.153	.155	.130	.986	.334
	C2	.249	.121	.272	2.061	.050
	C3	.357	.124	.361	2.870	.008
	C4	.373	.094	.407	3.965	.001

2. Nilai R= 0.882 ; maka hubungan yang terjadi antara variabel independen secara serentak terhadap variabel dependen (Y) kuat

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.882 ^a	.778	.724	.32293

Lampiran 23: Regresi Skenario 6

1. Persamaan regresi: $Y=2.15+(-0.025)D6+(0.054)D7+(-0.037)D13+(0.511)M1$

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	2.150	.850		2.531	.018
D6	-.025	.134	-.037	-.183	.856
D7	.054	.112	.100	.480	.635
D113	-.037	.085	-.080	-.433	.668
M1	.511	.179	.578	2.859	.008

2. Nilai R= 0.626; maka hubungan yang terjadi antara variabel independen secara serentak terhadap variabel dependen (Y) kuat

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.626 ^a	.276	.169	.43984

Lampiran 24: Regresi Skenario 7

1. Persamaan regresi: $Y=1.974+(0.077)D6+(-0.031)D7+(0.051)D13+(0.447)M2$

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	1.974	.836		2.360	.026
D6	.077	.120	.115	.639	.528
D7	-.031	.098	-.058	-.319	.752
D113	.051	.075	.110	.680	.502
M2	.447	.141	.519	3.168	.004

2. Nilai R= 0.659 ; maka hubungan yang terjadi antara variabel independen secara serentak terhadap variabel dependen (Y) kuat

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.659 ^a	.313	.211	.42867

Lampiran 25: Regresi Skenario 8

1. Persamaan regresi: $Y = 2.369 + (0.101)D6 + (-0.116)D7 + (0.046)D13 + (0.441)M3$

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error	Beta			
1 (Constant)	2.369	.781			3.033	.005
D6	.101	.122	.151		.833	.412
D7	-.116	.098	-.216		-1.187	.245
D113	.046	.076	.100		.606	.549
M3	.441	.149	.489		2.956	.006

2. Nilai R= 0.636; maka hubungan yang terjadi antara variabel independen secara serentak terhadap variabel dependen (Y) kuat

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.636 ^a	.288	.182	.43637

Lampiran 26: Regresi Skenario 9

1. Persamaan regresi: $Y = 3.26 + (0.05)D6 + (-0.141)D7 + (0.081)D13 + (0.278)M4$

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error	Beta			

1	(Constant)	3.263	.681		4.789	.000
	D6	.050	.133	.074	.372	.713
	D7	-.141	.105	-.263	-1.347	.189
	D113	.081	.080	.176	1.012	.321
	M4	.278	.124	.423	2.237	.034

2. Nilai R= 0.652; maka hubungan yang terjadi antara variabel independen secara serentak terhadap variabel dependen (Y) kuat

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.652 ^a	.405	.287	.46111

Lampiran 27: Regresi Skenario 10

1. Persamaan regresi: $Y = 2.046 + (0.080)D6 + (-0.213)D7 + (0.062)D13 + (0.612)M5$

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	2.046	.614	3.333	.003
	D6	.080	.101	.793	.434
	D7	-.213	.084	-.395	.018
	D113	.062	.063	.986	.333
	M5	.612	.123	4.967	.000

2. Nilai R= 0.712; maka hubungan yang terjadi antara variabel independen secara serentak terhadap variabel dependen (Y) kuat

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.712 ^a	.507	.434	.36292

Lampiran 28: Regresi Skenario 11

1. Persamaan regresi: $Y = 1.588 + (0.217)D6 + (-0.175)D7 + (0.081)D13 + (0.524)M6$

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		Sig.
	B	Std. Error	Beta	t	
1 (Constant)	1.588	.594		2.673	.013
D6	.217	.093	.324	2.329	.028
D7	-.175	.075	-.326	-2.324	.028
D113	.081	.058	.175	1.402	.172
M6	.524	.089	.742	5.888	.000

2. Nilai R= 0.766; maka hubungan yang terjadi antara variabel independen secara serentak terhadap variabel dependen (Y) kuat

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.766 ^a	.587	.526	.33219

Lampiran 29: Regresi Skenario 12

1. Persamaan regresi:

$$Y = 0.337 + (0.072)D6 + (0.151)D7 + (0.03)D13 + (0.184)M1 + (0.053)M2 + (0.076)M3 + (0.07)M4 + (0.274)M5 + (0.330)M6$$

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		Sig.
	B	Std. Error	Beta	t	
1 (Constant)	.337	.611		.552	.587
D6	.072	.091	.107	.784	.441
D7	-.151	.076	-.280	-1.973	.061
D113	.030	.054	.065	.554	.585
M1	.184	.133	.207	1.383	.181

M2	.053	.119	.062	.448	.659
M3	.076	.131	.084	.581	.567
M4	.070	.085	.106	.818	.422
M5	.274	.142	.322	1.926	.067
M6	.330	.091	.467	3.642	.001

2. Nilai $R = 0.882$; maka hubungan yang terjadi antara variabel independen secara serentak terhadap variabel dependen (Y) sangat kuat

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.882 ^a	.778	.688	.26966

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kabupaten Lamongan pada tanggal 25 April 1992, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Dengan nama Rizki Astri Apriliani. Sulung dari pasangan orang tua Tri Waluyo dan Mahmudah ini telah menempuh pendidikan formal yaitu TK Kartini 1 Lamongan, SD Unggulan Lamongan, MTS Modern Boarding School of Islam Assalaam Solo, SMA Modern Boarding School of Islam Assalaam Solo, dan kemudian melanjutkan pendidikan Sarjana pada tahun 2010-2014 di Program Studi Teknik Arsitektur, Universitas Brawijaya Malang. Setelah lulus dari Strata satu penulis langsung melanjutkan pendidikan pascasarjana jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil bidang keahlian Manajemen Proyek Konstruksi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan terdaftar dengan NRP 3115203005 pada tahun 2015 dan lulus pada tahun 2017.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Arsitektur Universitas Brawijaya, juga pernah mengikuti berbagai kegiatan kepanitiaan, seminar dan pelatihan yang diselenggarakan oleh Jurusan Teknik Arsitektur maupun Universitas Brawijaya.

“Setiap kesulitan pasti akan datang kemudahan”. Kalimat ini yang selalu memberikan penulis semangat untuk mencapai tujuannya.

Apabila pembaca ingin berkorespondensi dengan Penulis, dapat menghubungi melalui email : astririzkiapriliani@gmail.com